



TESIS - RE185401

**STUDI PENURUNAN KADAR LOGAM KROMIUM (Cr)
DALAM LIMBAH BUATAN ELEKTROPLATING
MENGUNAKAN METODE PRESIPITASI DAN ADSORPSI**

MADALENA DA COSTA

03211650010010

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019


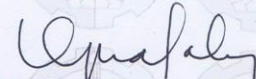
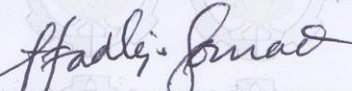
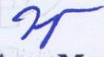
LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Madalena Da Costa
NRP. 03211650010010

Tanggal Ujian : 15 Januari 2019
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui Oleh:

1. 
Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D
NIP. 19500114 197903 1 001 (Pembimbing I)
2. 
Dr. Ali Masduqi, S.T., M.T
NIP. 19680128 199403 1 003 (Penguji I)
3. 
Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, M.T
NIP. 19751018 200501 1 003 (Penguji II)
4. 
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D
NIP. 19620816 199003 1 004 (Penguji III)



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


I.D.A.A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19750212 199903 2 001

STUDI PENURUNAN KADAR LOGAM KROMIUM (Cr) DALAM LIMBAH BUATAN ELEKTROPLATING MENGGUNAKAN METODE PRESIPITASI DAN ADSORPSI

Nama Mahasiswa : Madalena Da Costa
NRP : 03211650010010
Pembimbing : Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc, Ph.D

ABSTRAK

Logam kromium (Cr) merupakan salah satu logam yang bersifat sangat toksik bagi manusia dan hewan karena sifatnya yang karsinogenik. Logam Cr ini banyak dihasilkan dari limbah industri elektroplating karena bahan utama yang digunakan dalam kegiatan plating logam menggunakan larutan kromium. Tujuan dari penelitian ini mengetahui efisiensi kombinasi metode presipitasi dan adsorpsi dalam pengolahan limbah elektroplating secara batch dan kontinu di Laboratorium, kemudian menganalisis isotherm dan kinetika adsorpsi karbon aktif yang digunakan, selanjutnya menentukan desain kolom *scale up*.

Dalam penelitian ini, untuk adsorpsi digunakan arang tempurung kelapa yang telah diaktivasi menggunakan asam sulfat (H_2SO_4). Variasi ukuran adsorben yang digunakan adalah 8 mesh (3,60 mm), 10 mesh (2,00 mm), dan 12 mesh (1,70 mm). Karbon aktif sebelum dan sesudah digunakan sebagai adsorben dikarakterisasi menggunakan metode SEM-EDX. Penurunan kadar Cr dalam sampel limbah dilakukan dengan menambahkan $Ca(OH)_2$ sebagai presipitan. Selanjutnya efluen proses presipitasi dilanjutkan proses adsorpsi menggunakan variasi ukuran dan massa adsorben, konsentrasi Cr, dan waktu adsorpsi. Analisis kandungan logam Cr menggunakan metode AAS. Adsorpsi sistem kontinu dilakukan berdasarkan efisiensi penyisihan optimum yang diperoleh pada sistem *batch*.

Hasil karakterisasi karbon aktif tempurung kelapa sebelum adsorpsi mengandung pori yang teratur dan terdistribusi merata pada permukaan adsorben dan digunakan dalam adsorpsi pori yang terbentuk sebelumnya dan telah tertutupi oleh logam Cr pada permukaan adsorben. Efisiensi penurunan kadar Cr pada presipitasi terjadi pada pH optimum 9 adalah dengan penurunan kadar Cr sebesar 76,42% dari konsentrasi awal Cr yang adalah 98,07 mg/l. Efisiensi penurunan kadar Cr pada proses adsorpsi sistem batch adalah 97,39% pada konsentrasi larutan 11,52 mg/l, dan massa adsorben adalah 8 gram dengan ukuran adsorben 12 mesh (2,37 mm). Isotherm adsorpsi yang terjadi mengikuti persamaan Freundlich sedangkan kinetika adsorpsi mengikuti persamaan reaksi orde satu. Efisiensi penyisihan optimum pada proses proses kontinu adalah 98,95% pada perlakuan awal dengan ketinggian media 40 cm dan konsentrasi larutan Cr 11,52 mg/l. Perhitungan desain kolom *scale up* yang diperoleh adalah kapasitas air yang dapat diolah sebesar 0,05 BV/jam dengan densitas adsorben sebesar 529,20 kg/m³ dan jumlah volume terolah per massa adsorben adalah 29,4 liter/kg.

Kata kunci: Adsorpsi, karbon aktif, kromium (Cr), presipitasi, tempurung kelapa.

STUDY OF CHROMIUM (Cr) METAL REDUCTION LEVEL IN ELECTROPLATING WASTE USING PRECIPITATION AND ADSORPTION METHODS

Name : Madalena Da Costa
NRP : 03211650010010
Supervisor : Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc, Ph.D

ABSTRACT

Chromium (Cr) is a very toxic metal to humans and animals due to its carcinogenic nature. Cr is mostly produced from electroplating industrial waste as the main material used in metal plating activities is Cr solution. The purpose of this study was to determine the efficiency of the combination of precipitation and adsorption methods in batch and continuous electroplating waste treatment in the laboratory, thereafter analyze the isotherm and the adsorption kinetics of the activated carbon used subsequently determine the scale up column design.

This study used coconut shell charcoal which was activated using sulfuric acid (H₂SO₄) for adsorption. The size variations of the adsorbent used were 8 mesh (3.60 mm), 10 mesh (2.00 mm), and 12 mesh (1.70 mm). Activated carbon was characterized using the SEM-EDX method before and after use as an adsorbent. Reduction level of Cr in samples occurred by adding Ca(OH)₂ as a precipitant. Furthermore, the effluent of the precipitation was processed towards adsorption using size and mass variations of the adsorbent, Cr concentration, and adsorption time. Analysis of Cr metal content was carried out by using AAS method. Continuous adsorption was carried out based on the optimum removal efficiency obtained in a batch system.

Characterization result of activated carbon from coconut shell before adsorption contained regular and evenly distributed pores on the surface of the adsorbent. After adsorption, the pores previously formed were covered by Cr metal on the surface of the adsorbent. The removal efficiency of Cr level through precipitation occurred at optimum pH 9 with Cr reduction of 76.42% from the initial Cr concentration which was 98.07 mg/L. The removal efficiency of Cr in the batch system adsorption process was 97.39% at a solution concentration of 11.52 mg/L. Adsorbent mass was 8 grams with a size of 12 mesh adsorbent (2.37 mm). The adsorption isotherm occurred, following the Freundlich equation while the adsorption kinetics following the first order reaction equation. The optimum removal efficiency in the continuous process was 98.95% in the initial treatment with a media height of 40 cm and Cr solution concentration of 11.52 mg/L. The scale up column design obtained at the capacity of treated water of 0.05 BV/hour with an adsorbent density of 529.20 kg/m³ and the quantity of treated volume per adsorbent mass was 29.4 liters/kg.

Keyword: Adsorption, activated carbon, chromium (Cr), precipitation, coconut shell.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus dan Bunda Maria karena atas rahmat dan kerahiman-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "Studi Penurunan Kadar Logam Kromium (Cr) dalam Limbah Buatan Elektroplating Menggunakan Metode Presipitasi dan Adsorpsi".

Dalam penyusunannya tesis ini tidak lepas dari bantuan, saran, masukan dan bimbingan pihak terkait. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan hingga selesai dalam penyusunan tesis ini.
2. Bapak Dr. Ali Masduqi, ST., M.T, Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, M.T dan Bapak Ir. Mas Agus Mardyanto, M.E.,Ph.D sebagai dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan dalam penulisan tesis.
3. Ibu Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, MT selaku dosen wali yang sudah mengarahkan dan banyak memberikan masukan selama penulis menjadi mahasiswa Pasca Teknik lingkungan-ITS.
4. Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Lingkungan yang telah memberikan dukungan ilmu dalam menyelesaikan tesis ini.
5. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia, atas dukungan Finansial selama penulis menempuh studi magister dan penelitian.
6. Kedua Orang tua, kakak-adik, keluarga, dan kekasih yang selalu memberikan motivasi, semangat, dan doa kepada penulis untuk menyelesaikan tesis ini.
7. Teman-teman angkatan 2016 dan 2017 Program Pasca Sarjana serta adik-adik S1 Departemen Teknik Lingkungan yang telah membantu.
8. Seluruh pihak terkait dengan tesis ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini, oleh karena itu penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan tesis ini.

Surabaya, 03 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Limbah Elektroplating	7
2.2 Karakteristik Limbah Cair Elektroplating	8
2.3 Logam Berat.....	8
2.4 Presipitasi kimia.....	9
2.4.1 Calsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).....	10
2.4.2 Kelarutan Logam Berat.....	11
2.5 Adsorpsi	12
2.5.1 Adsorpsi fisika	13
2.5.2 Adsorpsi kimia.....	13
2.6. Mekanisme Adsorpsi	14
2.7. Proses Adsorpsi Isotherm	15
2.7.1 Model Isotherm Freundlich.....	15
2.7.2 Model Isotherm Langmuir	16
2.8. Kinetika Adsorpsi	17

2.9 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi.....	18
2.10 Adsorpsi Sistem Kontinyu	20
10.1 Pendekatan Kinetik	21
2.11 Pendekatan Matematik (Scale up)	22
2.12 Adsorben dari Tempurung Kelapa.....	23
2.13 Penelitian Terdahulu	24
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Metode Penelitian	27
3.2 Kerangka Perencanaan Penelitian.....	27
3.3 Studi Literatur	29
3.4 Variasi Penelitian	29
3.5 Persiapan Penelitian	29
3.5.1 Persiapan Reaktor Penelitian	29
3.5.2 Persiapan Limbah Buatan Elektroplating	31
3.6 Pelaksanaan Penelitian.....	31
3.6.1 Analisis Karakteristik Awal Limbah Buatan Elektroplating	32
3.6.2 Pembuatan Adsorben Karbon Aktif.....	32
3.6.3 Uji Pendukung Adsorben.....	32
3.6.4 Karakterisasi Adsorben dengan Metode SEM-EDX	34
3.6.5 Proses Presipitasi	34
3.6.6 Variasi Konsentrasi Air Limbah (Proses Adsorpsi).....	34
3.6.7 Percobaan Pendahuluan Proses Adsorpsi	35
3.6.8 Proses Adsorpsi.....	36
3.7 Data Hasil Penelitian.....	38
3.8 Pembahasan.....	38
3.9 Penarikan Kesimpulan dan Saran	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Karakteristik Limbah Asli Elektroplating.....	39
4.2 Proses Presipitasi	41
4.2.1 Pengaruh pH terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Cr	42

4.3 Penelitian Pendahuluan Proses Adsorpsi	44
4.3.1 Penentuan pH Optimum Proses Adsorpsi.....	44
4.3.2 Penentuan Waktu Keseimbangan	45
4.3.3 Penentuan Kecepatan pengadukan.....	46
4.4 Proses Adsorpsi.....	47
4.4.1 Pelaksanaan Proses Adsorpsi (tanpa presipitasi)	48
4.4.2 Pengaruh Konsentrasi limbah terhadap penurunan Kadar Cr.....	49
4.4.3 Pengaruh Ukuran Adsorben terhadap penurunan Kadar Cr	52
4.4.4 Pengaruh Massa dan Ukuran Adsorben.....	57
4.5 Isotherm Adsorpsi Secara Batch.....	58
4.5.1 Model Freundlich.....	58
4.5.2 Model Langmuir	60
4.6 Kinetika Adsorpsi Logam Kromium	63
4.7 Penelitian Proses Kontinu	65
4.7.1 Pengaruh Tinggi Adsorben Terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Cr	66
4.7.2 Konstanta Kinetika dan Kapasitas Adsorpsi	69
4.7.3 Data Disain Kolom Adsorpsi	71
4.8 Pembuatan Adsorben	74
4.8.1 Uji Pendahuluan.....	75
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Limbah Cair Elektroplating.....	8
Tabel 2.2	Ukuran Pori Karbon Aktif.....	24
Tabel 4.1	Data karakteristik Limbah Asli Elektroplating	39
Tabel 4.2	Karakteristik Limbah Buatan	40
Tabel 4.3	Pengaruh pH terhadap meningkatnya efisiensi penurunan Cr pada Kecapatan pendadukan 100 rpm.....	42
Tabel 4.4	Pengaruh Variasi pH terhadap terhadap penurunan Cr.....	44
Tabel 4.5	Penentuan Waktu Pengadukan.....	45
Tabel 4.6	Penentuan KecepatanPengadukan.....	46
Tabel 4.7	Data Adsorpsi Cr tanpa presipitasi.....	58
Tabel 4.8	Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Penurunan Cr pada Ukuran Adsorben 8 mesh.....	49
Tabel 4.9	Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Penurunan Cr pada Ukuran Adsorben 10 mesh.....	50
Tabel 4.10	Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Penurunan Cr pada Ukuran Adsorben 10 mesh.....	51
Tabel 4.11	Pengaruh Ukuran Adsorben Terhadap Efisiensi Penurunan Cr pada massa Adsorben 0,5 gram	52
Tabel 4.12	Pengaruh Ukuran Adsorben Terhadap Efisiensi Penurunan Cr pada massa Adsorben 1,0 gram	53
Tabel 4.13	Pengaruh Ukuran Adsorben Terhadap Efisiensi Penurunan Cr pada massa Adsorben 2,0 gram	54
Tabel 4.14	Pengaruh Ukuran Adsorben Terhadap Efisiensi Penurunan Cr pada massa Adsorben 4,0 gram	54
Tabel 4.15	Pengaruh Ukuran Adsorben Terhadap Efisiensi Penurunan Cr pada massa Adsorben 6,0 gram	55
Tabel 4.16	Pengaruh Ukuran Adsorben Terhadap Efisiensi Penurunan Cr pada massa Adsorben 8,0 gram	56
Tabel 4.17	Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Efisiensi terhadap Penurunan Cr pada Konsentrasi Larutan 23,10 mg/l dan.....	57
Tabel 4.18	Perhitungan Isotherm Freundlich untuk Konsentrasi 23,10 mg/l pada	

Ukuran Adsorben 8 Mesh	59
Tabel 4.19 Perhitungan Isotherm Langmuir untuk Konsentrasi 23,10 mg/l pada	
Ukuran Adsorben 8 Mesh	61
Tabel 4.20 Data Hasil Perhitungan Isotherm Adsorpsi.....	62
Tabel 4.21 Data Hasil Analisis Kinetika Adsorpsi	65
Tabel 4.22 Pengaruh Efisiensi Penyisihan Konsentrasi Cr terhadap ketinggian media ...	67
Tabel 4.23 Contoh Perhitungan konstanta kinetika dan kapasitas adsorben pada	
Co 11,52 mg/l dengan ketinggian adsorben 20 cm	70
Tabel 4.24 Perhitungan desain dengan penetapan dimensi kolom	73
Tabel 4.25 Karakteristik Fisik Adsorben Tempurung Kelapa	75
Tabel 4.26 Karakteristik Kimia Adsorben Tempurung Kelapa	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Logam Kromium.....	9
Gambar 2.2 Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	11
Gambar 2.3 Pengaruh pH Terhadap Kelarutan Logam	12
Gambar 2.4 Proses Adsorpsi.....	13
Gambar 2.5 Mekanisme Adsorpsi Pada Permukaan Adsorben	15
Gambar 2.6 Kurva Isotherm Adsorpsi Freundlich	16
Gambar 2.7 Kurva Isotherm Adsorpsi Langmuir	17
Gambar 2.8 Tipikal Kurva <i>Breakthrough</i>	21
Gambar 2.9 Tempurung kelapa (a), Arang Tempurung Kelapa	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3.2 Alat Jart Test yang digunakan dalam Sistem Batch	30
Gambar 3.3 Kolom Adsorpsi	31
Gambar 3.4 Skema Percobaan Penentuan Isotherm dan Kapasitas Adsorpsi	37
Gambar 4.1 Limbah Cair Buatan Elektroplating	40
Gambar 4.2 Sebelum Presipitasi (a), Proses Presipitasi (b), Hasil Presipitasi (c)	41
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh pH terhadap meningkatnya efisiensi penurunan Cr pada Kecapatan pendadukan 100 rpm	42
Gambar 4.4 Efisiensi Penurunan Cr pada Variasi pH.....	45
Gambar 4.5 Hasil Penentuan Waktu Kesetimbangan	46
Gambar 4.6 Hasil Penentuan Kecapatan Pengadukan	47
Gambar 4.7 Hasil Efisiensi Penurunan Kadar Cr pada Ukuran Adsorben 8 Mesh	50
Gambar 4.8 Hasil Efisiensi Penurunan Kadar Cr pada Ukuran Adsorben 10 Mesh	50
Gambar 4.9 Hasil Efisiensi Penurunan Kadar Cr pada Ukuran Adsorben 12 Mesh	51
Gambar 4.10 Hasil Efisiensi Penurunan Kadar Cr pada massa Adsorben 0,5 Gram	52
Gambar 4.11 Hasil Efisiensi Penurunan Kadar Cr pada massa Adsorben 1,0 Gram	53
Gambar 4.12 Hasil Efisiensi Penurunan Kadar Cr pada massa Adsorben 2,0 Gram	54
Gambar 4.13 Hasil Efisiensi Penurunan Kadar Cr pada massa Adsorben 4,0 Gram	55
Gambar 4.14 Hasil Efisiensi Penurunan Kadar Cr pada massa Adsorben 6,0 Gram	56
Gambar 4.15 Hasil Efisiensi Penurunan Kadar Cr pada massa Adsorben 8,0 Gram	56
Gambar 4.16 Efisiensi Penyisihan Cr pada Konsentrasi 23,10 mg/l	58
Gambar 4.17 Model freundlich Adsorpsi Cr pada Ukuran 8 Mesh	59
Gambar 4.18 Model Langmuir Adsorpsi Cr pada Ukuran 8 Mesh.....	61
Gambar 4.19 Model Kinetika Adsorpsi Orde Satu	64
Gambar 4.20 Model Kinetika Adsorpsi Orde dua	64
Gambar 4.21 Grafik Pengaruh Tinggi kolom terhadap efisiensi penyisihan	67
Gambar 4.22 Kurva breakthrough tinggi kolom 20 cm	68
Gambar 4.23 Kurva breakthrough tinggi kolom 30 cm	68
Gambar 4.24 Kurva breakthrough tinggi kolom 40 cm	68
Gambar 4.25 Contoh Penentuan Konstanta Kinetika	70
Gambar 4.26 Tempurung Kepala Setelah Aktivasi (a) Diameter I (2,36 mm), (b) Diameter II (2,00 mm) Diameter III (1,70 mm)	74

Gambar 4.27 Proses Aktivasi Kimia.....	74
Gambar 4.28 a) Karakteristik Tempurung Kelapa Ukuran Diameter 1,70 mm, 2 mm Proses Adsorpsi Cr, (b) Karakteristik Kandungan Tempurung Kelapa Setelah adsorpsi	76
Gambar 4.29 a) Karakteristik Tempurung Kelapa Ukuran Diameter 2,36 Mm Sebelum Proses Adsorpsi Cr, (b) Karakteristik Kandungan Tempurung Kelapa Setelah adsorpsi	76
Gambar 4.30 a) Karakteristik Tempurung Kelapa Ukuran Diameter 2,00 Mm Setelah Proses Adsorpsi Cr, (b) Karakteristik Kandungan Tempurung Kelapa Setelah adsorpsi	79
Gambar 4.31 a) Karakteristik Tempurung Kelapa Ukuran Diameter 1,70 Mm Setelah Proses Adsorpsi Cr, (b) Karakteristik Kandungan Tempurung Kelapa Setelah adsorpsi	80

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran logam kromium (Cr) dalam lingkungan saat ini menjadi perhatian karena diketahui sangat toksik terhadap manusia maupun hewan. Sifat kromium yang sangat karsinogenik menyebabkan keberadaannya dalam lingkungan harus diminimalisir (Raji dan Anirudan, 1998; Erhan et al., 2004). Menurut EPA, konsentrasi maksimum kromium (VI) dalam lingkungan dipersyaratkan adalah 0,1 mg/l. Industri *elektroplating* merupakan salah satu sumber pencemaran logam kromium di lingkungan karena pada kegiatan plating banyak menggunakan asam chromat sebagai lapis halus sehingga logam ini sangat dominan dalam limbah *elektroplating*. Kandungan kromium dalam limbah cair elektroplating dilaporkan antara 0,5 mg/l hingga 270.000 mg/l (Patterson, 1984) sedangkan di Indonesia diketahui antara 10-400 kali lipat lebih tinggi dari kriteria baku mutu limbah cair. Hal ini didasarkan pada penelitian terdahulu yang melakukan analisis karakteristik limbah *elektroplating* di beberapa industri plating di Jakarta, di antaranya oleh Christianna et al., (2011) berkisar antara 30 mg/l - 55 mg/l; 777 mg/L (Triwulandari et al., 2012), Industri plating X di Surabaya menghasilkan konsentrasi Cr yang tinggi yaitu 65,80 mg/l (Sumada 2006), sedangkan batas maksimum kadar kromium untuk limbah cair kegiatan/usaha industri menurut KepMen LH Nomor 51 Tahun 1995 adalah 0,1 ppm dan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 bahwa batas maksimum Cr dalam limbah adalah 0,1 ppm.

Ion logam kromium dalam limbah cair elektroplating memiliki bilangan oksidasi yang berbeda-beda antara lain kromium hexavalent (Cr (VI)), Kromium Trivalent (Cr(III)). Logam kromium mempunyai sifat yang berbeda pada kondisi asam dan kondisi basa. Pada kondisi asam, krom akan berbentuk kromat (CrO_4^-) atau krom bervalensi 6 yang sangat toksik (Masduqi dan Asommadi, 2016) sedangkan pada kondisi basa akan mudah membentuk endapan sehingga apabila terdapat dalam jumlah besar akan mempengaruhi berbagai aspek perairan, baik secara biologis maupun ekologis. Hal ini karena logam berat diketahui dapat mengumpul di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh untuk jangka waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi (Saeni, 1997). Cr (III) umumnya logam yang cenderung menempel pada organisme sehingga berpotensi menyebabkan penyakit dan gangguan (Demirbas et al., 2004). Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang

kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus (Rahman, 2008), gagal fungsi ginjal, hati dan usus yang dapat berakibat pada kematian.

Mengingat dampak yang dapat ditimbulkan oleh kromium sangat besar maka diperlukan sistem pengolahan yang baik agar efluen yang dibuang ke badan air tidak melebihi batas maksimum kadar kromium yang telah ditetapkan. Berbagai metode pengolahan untuk mengurangi kadar kromium telah banyak dilakukan seperti adsorpsi karbon aktif dari ampas tebu, sekam padi, kulit kayu putih (Sarin, 2005) tempurung kelapa, batu bara (Selomulyo et al., 1999; Demirbas et al., 2004), sampah bahan material (Gupta et al., 2010), *ion exchange resin* (Rengaraj et al., 2001), pemisahan dengan membran menggunakan *polymer enhanced ultrafiltrasi*, elektrokoagulasi (Akbal and Camci, 2010), presipitasi kimia menggunakan kapur (Riskanora, 2008).

Pada umumnya pengolahan logam berat dalam limbah bersifat mahal sehingga selain mempertimbangkan efisiensi penyisihan yang tinggi, diperlukan metode yang ekonomis dan mudah dioperasikan. Pada penelitian ini digunakan metode presipitasi dan adsorpsi untuk menghilangkan krom dalam limbah *elektroplating* karena kedua metode ini dinilai efektif untuk pengolahan logam berat. Metode presipitasi merupakan salah satu metode pengolahan sekunder yang mengubah kondisi fisik limbah cair dari bentuk terlarut menjadi zat tersuspensi dan dapat mengendap (Wardhani et al., 2013) dan telah banyak digunakan untuk memisahkan logam berat dari limbah cair (Metcalf & Eddy, 1991) karena memiliki efisiensi penyisihan yang tinggi dalam menurunkan zat-zat terlarut (Jamhari, 2009), sedangkan metode adsorpsi merupakan salah satu tahap pengolahan tersier dalam sistem pengolahan air limbah karena memiliki efisiensi yang tinggi untuk menyerap ion logam (Acharya et al., 2009; Cronje et al., 2011). Metode adsorpsi ini direkomendasikan untuk pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui efisiensi penyisihan parameter pencemar limbah cair *elektroplating* dengan menggunakan kombinasi metode presipitasi dan adsorpsi. Presipitasi dilakukan dengan cara menaikkan pH yakni dengan penambahan basa, sehingga logam berat tersebut berubah menjadi oksida logam yang mudah mengendap. Tujuan pembentukan presipitat ini adalah untuk memudahkan bahan-bahan tersebut mengendap sehingga kadarnya di dalam air menjadi berkurang (Masduqi & Assomadi, 2016). Metode adsorpsi dilakukan dengan penambahan arang aktif yang mampu menyerap logam berat dalam jumlah yang tidak sedikit. Dari kombinasi metode yang dilakukan, proses presipitasi mendahului proses adsorpsi dengan tujuan mengurangi kadar logam yang tinggi sehingga mengurangi beban pada unit pengolahan adsorpsi. Pada proses adsorpsi logam Cr^{6+} yang tidak

terendapkan akan diadsorpsi. Hal ini berarti penurunan kadar logam dalam limbah melalui presipitasi dapat menurun secara signifikan, namun konsentrasi logam masih relatif tinggi sehingga proses adsorpsi digunakan sebagai tahap lanjutan penyisihan kadar logam yang tersisa dalam larutan. dan pada tahap ini efisiensi penurunan kadar dapat mencapai 100%.

Dari studi literatur yang dilakukan, kombinasi presipitasi adsorpsi umumnya digunakan dalam pengolahan limbah yang mengandung senyawa organik dan anorganik. Penelitian Jamhari (2009) menggunakan metode kedua metode tersebut untuk mereduksi logam berat dalam limbah Laboratorium. Kemudian hal yang sama dilakukan Suprihatin dan Indrasti, (2010) melakukan pengolahan limbah Laboratorium. Penelitian Wardhani et al., (2013) menggunakan kombinasi presipitasi adsorpsi untuk menurunkan zat anorganik dan organik yang terkandung dalam limbah industri penyamakan kulit. Efisiensi penurunan zat pencemar dalam limbah dari penelitian tersebut relatif tinggi tetapi dalam pengolahannya untuk proses presipitasi digunakan NaOH sebagai presipitan dan proses adsorpsi menggunakan karbon aktif komersial. Sedangkan dalam penerapannya di Lapangan penggunaan NaOH dan adsorben komersial dinilai mahal dan tidak ekonomis. Maka aplikasi metode ini menjadi pertimbangan bagi industri dalam melakukan pengolahan limbah cairnya. Pada penelitian ini digunakan $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ sebagai presipitan yang umumnya digunakan dalam industri, dan dilakukan kajian persentase efisiensi penyisihannya. Efluen hasil presipitasi dilanjutkan proses adsorpsi menggunakan adsorben tempurung kelapa. Tempurung kelapa yang digunakan sebagai adsorben telah dilakukan aktivasi menggunakan asam sulfat sehingga memiliki daya adsorp yang tinggi seperti karbon aktif komersial pada umumnya.

Penelitian ini dinilai berbeda dengan penelitian terdahulu, karena pada penelitian sebelumnya proses presipitasi dan adsorpsi hanya dilakukan secara *batch* untuk mengetahui efisiensi penurunan kadar logam, sedangkan dalam penelitian ini penurunan kadar Cr dalam limbah buatan elektroplating dengan proses adsorpsi dilakukan secara *batch* dan kontinyu. Sistem *batch* yang digunakan bertujuan untuk mengkaji efisiensi penurunan kadar logam dan menentukan bentuk isotherm dan kinetika adsorpsi karbon aktif tempurung kelapa. Kemudian proses kontinyu dimaksudkan untuk mempermudah penerapan hasil penelitian dalam skala besar di lapangan. Diakhir penelitian dilakukan perhitungan menggunakan data proses *batch* dan kontinyu yang diperoleh, kemudian digunakan untuk keperluan desain *pilot plant* dengan beragam dimensi kolom sehingga dapat diaplikasikan di Lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dikaji dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapa besar efisiensi penyisihan kadar kromium dalam limbah yang diolah, jika menggunakan kombinasi metode presipitasi - adsorpsi dibandingkan dengan limbah yang diolah dengan proses adsorpsi tanpa proses presipitasi.
2. Bagaimana bentuk isotherm dan kinetika adsorpsi logam kromium pada proses adsorpsi dengan bervariasi ukuran dan massa adsorben terhadap variasi konsentrasi air limbah buatan elektroplating.
3. Bagaimana kemampuan penyisihan logam Cr menggunakan adsorben karbon aktif dari sistem kontinyu.
4. Data-data untuk keperluan desain kolom adsorpsi dengan logam kromium dengan menggunakan tempurung kelapa sebagai media adsorpsinya.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah;

1. Mengkaji kemampuan penyisihan logam kromium (Cr) dalam limbah menggunakan kombinasi metode presipitasi - adsorpsi dan proses adsorpsi tanpa presipitasi.
2. Menentukan model isotherm dan kinetika adsorpsi logam kromium (Cr) dengan menggunakan tempurung kelapa sebagai adsorben.
3. Menghitung efisiensi penyisihan logam Cr menggunakan adsorben karbon aktif pada sistem kontinyu.
4. Menentukan kriteria desain yang dapat digunakan untuk mendesain kolom adsorpsi dengan dimensi kolom yang lebih besar melalui pendekatan *scale up*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukan penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini sebagai sumber informasi dan dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat dengan memanfaatkan tempurung kelapa sebagai adsorben
2. Sebagai metode alternatif untuk mengurangi bahaya pencemaran logam berat Cr terhadap lingkungan.
3. Sebagai masukan untuk pengembangan teknologi pengolahan logam Cr pada industri elektroplating ataupun industri lain yang menghasilkan ion logam Cr.
4. Penelitian diharapkan bermanfaat bagi institusi, pihak pengelola industri elektroplating sebagai alternatif pengelolaan limbah cair elektroplating sehingga dapat membantu mengatasi masalah pencemaran lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan sebagai berikut;

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan sistem batch dan akan diaplikasikan ke sistem kolom kontinyu vertikal di Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik lingkungan FTSP-ITS Surabaya.
2. Sampel yang digunakan adalah air limbah buatan industri elektroplating.
3. Logam kromium (Cr) sebagai parameter yang diukur.
4. Penelitian dilakukan menggunakan dua metode yaitu preseipitasi dan adsorpsi.
 - a. Proses presipitasi menggunakan kontrol pH (8; 8,5; 9; 9,5 dan 10) dan kecepatan pengadukan (100 rpm dan 120 rpm).
 - b. Proses adsorpsi dilakukan menggunakan sistem batch (variasi konsentrasi limbah, ukuran adsorben dan massa adsorben) dan sistem kontinyu menggunakan *down flow fixed bed adsorption column* dengan bervariasi tinggi adsorben pada kolom.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah *Elektroplating*

Proses *elektroplating* selain menghasilkan produk yang berguna, menghasilkan pula limbah padat, emisi gas dan cair. Limbah padat berasal dari proses penghilangan kerak, *polishing*, maupun kotoran sisa pada bak *elektroplating*. Limbah berupa emisi gas pada umumnya berasal dari penguapan larutan elektrolit, solven, uap asam, maupun cairan pembersih. Limbah cair berupa air limbah yang berasal dari pencucian, pembersihan dan proses *elektroplating*. Air mengandung logam-logam terlarut, solven dan senyawa organik maupun anorganik terlarut lainnya (Sari, 2009).

Limbah yang dihasilkan pada industri *elektroplating* umumnya sangat beragam kandungannya tergantung pada proses plating atau pelapisannya yaitu pelapisan perak, emas, tembaga, nikel dan krom. Dalam proses pelapisannya digunakan bahan-bahan kimia seperti perak, potasium kalium sianida, tembaga sianida, tembaga sulfat, nikel klorida, nikel sulfat, asam kromat, natrium karbonat, amonium dan natrium hidroksida yang berfungsi sebagai pencuci dan mempercepat proses pelapisan sehingga limbah yang dihasilkan mengandung kadar logam yang tinggi dan apabila dibuang ke lingkungan akan meracuni habitat di sekitarnya karena logam-logam tersebut berakumulasi di dalam tanah dan mencemari badan air (Sari, 2009). Berdasarkan bahan dasar yang digunakan dalam proses pelapisan, air limbah yang dihasilkan mengandung logam berat yang bervariasi diantaranya logam tembaga (Cu), seng (Zn), timah (Pb), Nikel (Ni), sianida (CN), Kromium (Cr) (Tabel 2.1).

Salah satu logam berat yang dominan dalam air limbah *elektroplating* adalah logam kromium dan memiliki bilangan oksidasi yang berbeda tergantung pada kondisi asam atau basa. Pada kondisi asam ion krom yang ada cenderung membentuk HCrO_4^- dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ atau dikenal dengan kromium hexavalent (Cr (VI)), sedangkan pada kondisi basa akan mudah mengalami pengendapan atau pembentukan logam hidroksida. Kromium hexavalent (Cr (VI)) digolongkan dalam limbah B3 karena sifatnya yang toksik, mutagenik. Kromium trivalen (Cr (III)) meskipun memiliki sifat toksisitas lebih rendah daripada kromium heksavalen namun apabila menggunakan air yang mengandung Cr (III) dalam jangka waktu panjang dapat bereaksi dengan kulit dan akan menimbulkan kanker (Kushwaha et al, 2012).

2.2 Karakteristik Limbah Cair Elektroplating

Berdasarkan studi literatur penelitian terdahulu diketahui karakteristik limbah cair *elektroplating* dan didapatkan bahwa terdapat beberapa parameter yang melebihi baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya yang ditetapkan untuk Industri *Elektroplating* (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Karakteristik limbah elektroplating secara umum

Parameter	Kondisi Limbah Elektroplating (mg/L)	Baku Mutu PerGub Jatim No.72 Tahun 2013 ⁽²⁾ (mg/L)
Kromium Valensi VI	65,60 ⁽¹⁾	0,1
Sianida (CN ⁻)	0,53 ⁽¹⁾	0,2
Nikel (Ni ⁺²)	52,60 ⁽¹⁾	1,0
Seng (Zn ⁺²)	1,75 ⁽¹⁾	1,0
Timbal (Pb ⁺²)	3,56 ⁽¹⁾	0,1
Kadmium (Cd ⁺²)	0,95 ⁽¹⁾	0,05
Tembaga (Cu ⁺²)	281,3 ⁽¹⁾	0,6
pH	3 ⁽¹⁾	6-9

Sumber: ⁽¹⁾Sumada, 2006

⁽²⁾ Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013

2.3 Logam Berat

Logam berat dapat didefinisikan sebagai logam yang memiliki rapat massa tinggi (5 g/cm³) dan walaupun dalam konsentrasi kecil dapat bersifat racun dan berbahaya. Pencemaran logam berat merupakan pencemaran paling berbahaya. Pencemaran logam berat dalam perairan telah menjadi salah satu masalah lingkungan yang paling serius saat ini seperti pencemaran merkuri (Hg), krom heksavalen, timbal (Pb), tembaga (Cu), cadmium (Cd) dan seng (Zn). Persoalan spesifik dari logam berat di lingkungan terutama karena tidak dapat dibiodegradasi dan dapat terakumulasi dalam jaringan makhluk hidup.

Keberadaan logam berat tersebut sangat berbahaya karena bersifat toksik jika terdapat dalam jumlah besar dan mempengaruhi berbagai aspek perairan, baik secara biologis maupun ekologis. Hal ini disebabkan bahwa logam-logam berat diketahui dapat mengumpul di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam satu tubuh untuk jangka waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi (Saeni, 1997). Demikian pula jika lingkungan perairan telah tercemar logam berat maka proses pembersihannya cenderung sulit dilakukan, dan pencemaran ini akan terus meningkat sejalan dengan meningkatnya eksploitasi berbagai sumber alam dan berbagai proses industri yang mengandung logam berat (Palar, 1994).

Kromium dalam sistem periodik unsur, termasuk dalam golongan VIB diperoleh dari penambangan kromit ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$). Kromium bersifat tahan terhadap asam, memiliki valensi -2 hingga +6. Kromium yang bervalensi -1 dan -2 amat jarang dijumpai, sedangkan yang bervalensi +2, +3 dan +6 lebih umum dijumpai. Kromium bervalensi 6 (Cr (VI)) sangat penting dalam industri karena nilai potensial oksidasi yang tinggi, bersifat larut dalam air serta stabil sebagai ion kromat (CrO_4^{2-}) dan dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). Cr (III) bersifat tidak larut dalam air. Oleh karena itu, pengolahan air limbah yang mengandung kromium pada umumnya didahului dengan proses reduksi Cr(VI) menjadi Cr (III) sebelum dilakukan pengendapan dan sedimentasi (Trihadiningrum, 2016). Limbah yang mengandung kromium digolongkan sebagai bahan buangan berbahaya. Daya toksisitas kromium ditentukan oleh valensi ionnya. Cr^{6+} merupakan bentuk krom yang paling banyak dipelajari sifat racunnya karena dapat mengakibatkan terjadinya keracunan. Keracunan oleh krom yaitu toksisitas akut, toksisitas kronis, karsinogen (Rahman, 2008)



Gambar 2.1 Logam Kromium
Sumber Anonim (-a)

2.4 Presipitasi Kimia

Metode presipitasi (pengendapan) merupakan salah satu metode pengolahan yang banyak digunakan untuk memisahkan logam berat dari limbah cair (Metcalf & Eddy, 1991). Metode presipitasi ini dilakukan dengan penambahan bahan kimia pada bahan-bahan yang terlarut dan tersuspensi dalam air sehingga terjadi pembentukan endapan (presipitat) (Masduki & Assomadi, 2016).

Penyisihan logam berat dalam air dapat dilakukan dengan presipitasi. Metode presipitasi logam berat adalah dengan pengaturan pH air hingga di atas 8. hampir semua logam mempunyai sifat yang sama dalam hal kelarutannya. Kelarutan logam akan menurun seiring dengan naiknya pH. Kelarutan yang rendah akan menyebabkan logam tersebut membentuk presipitat. Untuk menghasilkan presipitat, logam-logam tersebut direaksikan dengan hidroksida, sulfida, atau karbonat. Reaksi dengan hidroksida adalah reaksi yang paling murah

diaplikasikan. Hidroksida ini berasal dari kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Umumnya, hidroksida digunakan untuk presipitasi logam seperti tembaga, timbal, dan seng. Sulfida efektif digunakan untuk presipitasi logam kadmium, tembaga, seng, arsen, dan selenium. Sulfida yang digunakan adalah natrium sulfida (Na_2S), hidroksida, dan ferosulfida (FeS). Reaksi pembentukan presipitat akan berlangsung dengan baik pada pH 8 hingga 11. Operasi presipitat adalah melalui unit-unit pengadukan cepat, sedimentasi dan filtrasi (Masduqi & Assomadi, 2016).

Hal tersebut juga dinyatakan oleh Eckenfelder (1989) dan Jamhari (2009) bahwa tiap-tiap logam memiliki karakteristik pH optimum presipitasi sendiri, yaitu pH pada saat logam tersebut memiliki kelarutan minimum. Oleh karena itu, pada limbah yang mengandung beragam logam, proses presipitasi dilakukan secara bertahap, yaitu dengan melakukan perubahan pH pada tiap tahapnya sehingga logam tersebut dapat mengendap secara bertahap (Jamhari, 2009).

Proses presipitasi kimia tidak hanya terjadi pada fenomena kimia semata, namun juga terdapat fenomena fisik di dalamnya. Fenomena fisik yang ada antara lain adalah perubahan bentuk padatan terlarut yang relatif berukuran kecil menjadi padatan tersuspensi yang relatif berukuran besar sehingga mudah diendapkan. Faktor fisik lainnya adalah pengadukan yang mempercepat proses presipitasi kimia (Metcalf & Eddy, 1991; Jamhari, 2009).

2.4.1 Calsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Pada proses presipitasi digunakan basa (presipitan) yang berperan sebagai pemberi ion Hidroksida (OH^-) untuk mengikat logam yang bersifat elektropositif di dalam air limbah sehingga dapat terjadi pengendapan. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau kapur merupakan basa dengan kekuatan sedang dan banyak digunakan untuk flokulan air, pengolahan limbah, pengolahan asam dan sebagai bahan alkali pengganti natrium hidroksida (NaOH). Dengan penambahan air, larutan tersebut akan bereaksi hebat dengan berbagai asam dan bereaksi dengan banyak logam. Larutan tersebut menjadi keruh bila dilewatkan karbon dioksida, karena mengendapnya kalsium karbonat.



Gambar 2.2 Kalsium Hidroksida

2.4.2 Kelarutan Logam Berat

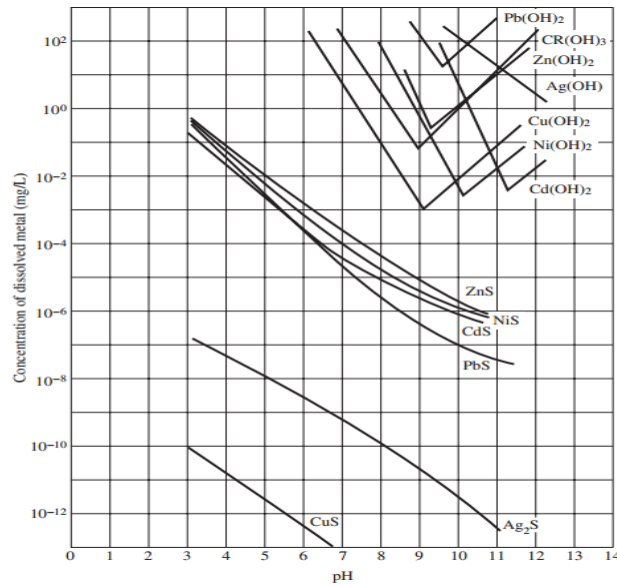
Kelarutan suatu logam dipengaruhi oleh derajat keasamaannya (pH). Setiap jenis logam berat mempunyai kelarutan terendah yang spesifik pada pH tertentu, misalnya: kelarutan minimum Cr^{3+} terjadi pada pH 8,5 dan Zn^{2+} terjadi pada pH 9,5 (Trihadiningrum, 2016). Kenyataan ini menunjukkan bahwa suatu nilai pH yang memberikan presentase penurunan kadar logam berat tertentu belum tentu memberikan presentase penurunan yang sama untuk jenis logam berat berbeda. Hal ini menimbulkan kesulitan dalam pengolahan limbah industri yang mengandung berbagai jenis logam.

Gambar 2.3 menunjukkan kurva kelarutan sejumlah logam berat. Pengendapan optimum masing-masing logam berat terjadi pada pH yang berbeda. Beberapa logam bersifat amfoter, oleh karena itu kelarutannya mencapai nilai minimum dalam pH tertentu (berbeda untuk masing-masing logam berat). Penambahan senyawa basa akan meningkatkan pH larutan.

Pada kenyataannya limbah cair industri mengandung pula berbagai faktor yang mempengaruhi kelarutan logam berat, yaitu:

- a. Adanya senyawa organik yang dapat mempertinggi kelarutan logam berat akibat pembentukan senyawa-senyawa kompleks.
- b. Adanya variasi suhu yang mempengaruhi kelarutan ion logam.
- c. Adanya ion-ion lain dan senyawa pembentuk kompleks yang mempengaruhi kelarutan logam berat.

Untuk mengatasi gangguan-gangguan tersebut dan guna menentukan nilai pH optimum untuk menurunkan kadar logam dengan cara pengendapan, perlu dilakukan studi laboratorium yang sungguh-sungguh guna menentukan % penurunan yang optimum (Trihadiningrum, 2016).

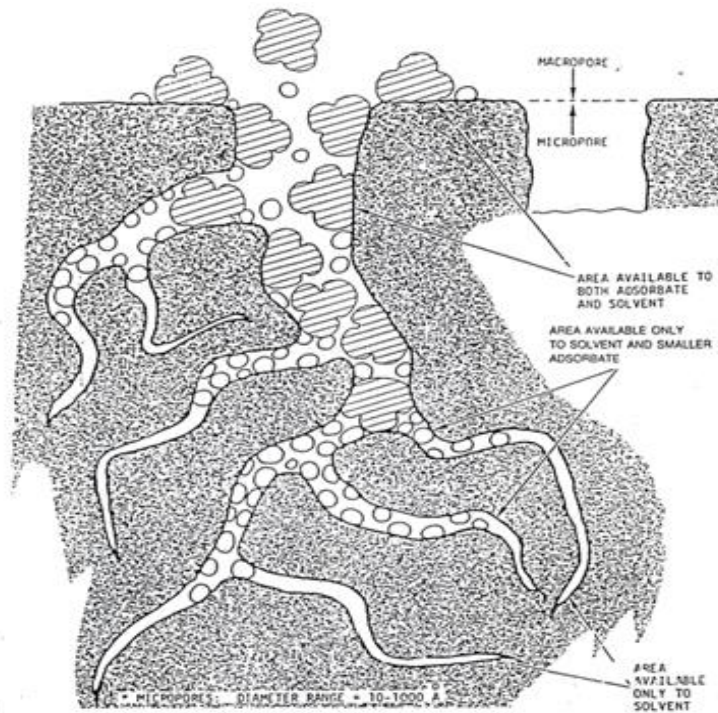


Gambar 2.3 Pengaruh pH terhadap kelarutan logam (Eckenfelder, 1989)

2.5 Adsorpsi

Secara umum adsorpsi didefinisikan sebagai proses akumulasi substansi di permukaan (*interface*) antara dua fase yang terjadi secara fisika dan atau kimia (Montgomery, 1985; Yuniarto, 1999). Proses adsorpsi terjadi karena ada perpindahan massa adsorben dari fase gerak (fluida pembawa adsorbat) ke permukaan adsorben (Gustama, 2012) (Gambar 2.4). Dalam prosesnya terjadi tarik menarik antar molekul adsorbat (zat teradsorpsi) serta molekul-molekul adsorbat dan situs-situs aktif pada permukaan adsorben (Pengadsorpsi). Perpindahan massa dapat terjadi jika gaya tarik adsorben lebih kuat (Jamhari, 2009).

Adsorben merupakan material atau bahan padatan yang memiliki kemampuan adsorpsi dan digunakan dalam proses adsorpsi, sedangkan adsorbat adalah zat atau padatan terlarut dalam fluida yang teradsorpsi. Bahan yang dapat digunakan sebagai adsorben adalah silika gel, alumina, baxite dan karbon aktif dan lain-lain (Yuniarto, 1999). Dalam pengolahan air, karbon aktif digunakan sebagai adsorben untuk menyisihkan rasa, bau, atau warna yang disebabkan oleh kandungan bahan organik dalam air, produk samping disinfeksi, pestisida dan bahan organik sintesis lainnya (Masduqi dan Assomadi, 2016).



Gambar 2.4 Proses adsorpsi
Sumber : Ahmed (2012)

Terjadinya proses adsorpsi disebabkan oleh adanya gaya tarik permukaan adsorben karena terdapat situs-situs aktif dan kinetik molekul adsorbat. Menurut Cheremisinoff (1974) proses adsorpsi yang terjadi berupa;

2.5.1 Adsorpsi Fisika

Pada proses adsorpsi fisika, gaya antara molekul adsorbat dan partikel adsorben yang saling terikat adalah gaya *van der waal's* (Benefield *et al.*, 1982), gaya tarik molekul antara adsorbat dan adsorben lebih besar daripada gaya tarik antara adsorbat dengan cairannya (Yuniarto, 1999). Akibat adanya gaya *van der Waal's* atau gaya tarik yang lemah antar molekul dan bersifat *reversible* atau dapat balik (Reynold dan Richard, 1996) tersebut molekul yang teradsorpsi bebas bergerak di sekitar permukaan adsorben dan tidak hanya menetap di satu titik. Apabila gaya tarik molekuler antara zat terlarut dalam adsorben lebih besar daripada gaya tarik antara zat terlarut dengan pelarut, maka zat terlarut akan teradsorpsi pada permukaan adsorben. Kebutuhan energi pada adsorpsi fisik sangat kecil bila dibandingkan dengan adsorpsi kimia (Abdelrasool *et al.*, 1992),

2.5.2 Adsorpsi Kimia

Pada proses adsorpsi kimia, proses yang terjadi lebih spesifik dan melibatkan gaya yang jauh lebih besar daripada adsorpsi fisika karena terjadi ikatan kimia antara molekul adsorbat

dengan permukaan adsorben (Cheremisinoff, 1974). Dengan adanya reaksi ikatan kimia ini, maka terjadi lapisan *monolayer* pada permukaan adsorben yang memiliki sifat kimia yang berbeda. Reaksi kimia ini biasanya tidak dapat balik (*irreversible*) (Reynold dan Richard, 1996). Secara normal bahan yang teradsorpsi membentuk lapisan di atas permukaan berupa molekul-molekul yang tidak bebas bergerak dari permukaan satu ke permukaan lainnya. Jika permukaan tertutup oleh lapisan monokuler, kapasitas adsorben telah habis.

2.6 Mekanisme Adsorpsi

Terdapat empat macam langkah dalam perpindahan molekul-molekul adsorbat sampai mencapai permukaan bagian dalam pori-pori adsorben (Gambar 2.6) (Abdelrasool, 1992):

1. Bulk Transport

Langkah ini merupakan perpindahan zat terlarut dalam fase larutan menuju ke sekeliling dari partikel adsorben, biasanya semakin cepat dengan bertambahnya kecepatan pengadukan.

2. Film Transport

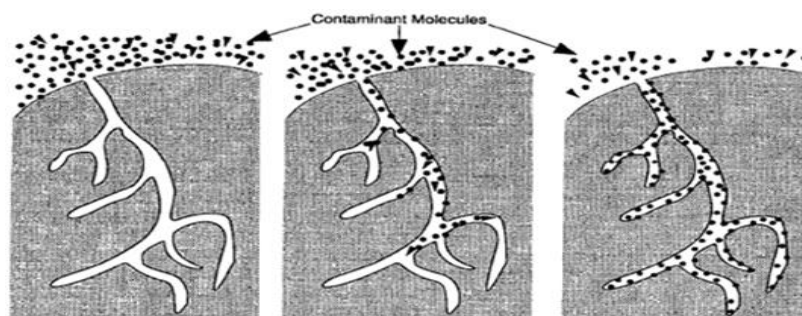
Langkah ini melibatkan difusi dari zat terlarut melalui suatu lapisan film yang menyebabkan timbulnya hambatan terhadap transfer massa pada permukaan partikel adsorben.

3. Intraparticle Transport

Intraparticle transport atau difusi internal melibatkan perpindahan adsorbat dari permukaan partikel adsorben menuju ke sisi bagian dalam partikel adsorben dengan cara difusi dalam cairan yang mengisi pori dan migrasi sepanjang permukaan pori (*surface diffusion*).

4. Adsorpsi zat terlarut pada sisi aktif

Langkah keempat dalam adsorpsi pada bagian dalam permukaan adsorpsi zat terlarut pada sisi-sisi aktif dan biasanya merupakan proses yang berlangsung dengan sangat cepat. Kecepatan proses adsorpsi akan dikontrol oleh tahapan yang paling lambat, yaitu *film transport* (difusi eksternal) atau *intraparticle transport* (difusi internal).



Gambar 2.5 Mekanisme adsorpsi pada permukaan adsorben

2.7 Proses Adsorpsi Isotherm

Isotherm adsorpsi adalah jumlah dari zat yang dapat terserap yang dipresentasikan pada suatu fungsi dari konsentrasi dan pada temperatur tertentu (Tchobanoglous, 2003) yang nantinya akan menghasilkan suatu kesetimbangan dari proses adsorpsi. Untuk memperoleh kurva isotherm adsorpsi dapat dilakukan dengan proses *batch*, di mana adsorben dicampurkan dengan air limbah tertentu kemudian perubahannya diamati dalam beberapa waktu. Beberapa model persamaan telah banyak dikembangkan untuk membantu interpretasi data adsorpsi hasil pengujian laboratorium yaitu di antaranya persamaan Freundlich isotherm dan Langmuir isotherm.

2.7.1 Model Isotherm Freundlich

Isotherm Freundlich merupakan model adsorpsi yang mengasumsikan bahwa adsorben mempunyai komposisi permukaan yang heterogen dimana proses adsorpsi di setiap sisi adsorpsi mengikuti isotherm Langmuir. Model Isotherm Freundlich ini banyak dikembangkan untuk adsorpsi solid liquid dan digunakan untuk mendeskripsikan kesetimbangan adsorpsi pada bahan organik dan anorganik dengan berbagai variasi adsorben termasuk biosorben (Febrianto et al., 2009). Persamaan Feundlich Isotherm seperti pada Persamaan (1) dan (2) (Reynold dan Richard, 1996).

$$qe = \frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n} \quad (1)$$

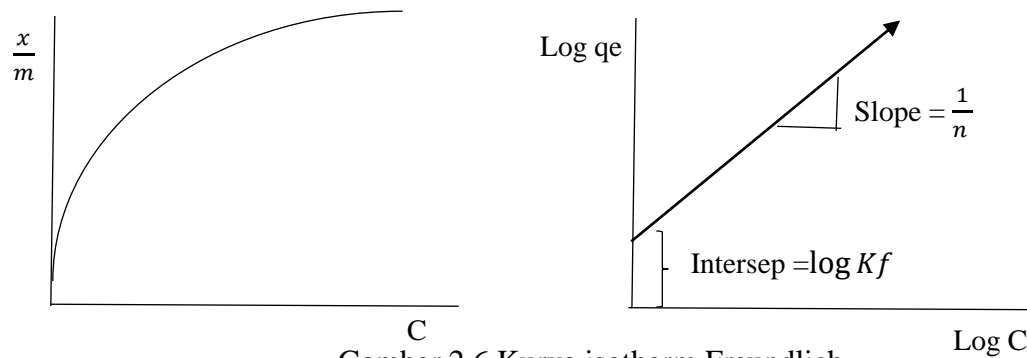
Persamaan Freundlich tersebut kemudian dirubah menjadi Persamaan (2) sebagai berikut.

$$\log qe = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

Keterangan :

x/m	= Adsorpsi maksimum pada kesetimbangan (mg/g)
C_e	= Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/l)
K_f dan n	= Konstanta Freundlich

Persamaan Langmuir (1) dan (2) digambarkan dalam bentuk grafik linier seperti terlihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Kurva isotherm Freundlich

2.7.2 Model Isotherm Langmuir

Isotherm Langmuir berdasarkan pada asumsi bahwa proses adsorpsi berlangsung pada sisi, dengan masing-masing sisi hanya mampu mengadsorb satu molekul adsorbat, sehingga lapisan terserap hanya setebal satu molekul adsorbat, sesuai dengan luasan permukaan adsorben dan adsorpsi bersifat bolak balik (*reversible*). Keseimbangan tercapai saat kecepatan adsorpsi pada permukaan sama dengan kecepatan desorpsi pada permukaan adsorben. Persamaan Langmuir isotherm seperti pada Persamaan (3) dan (4) (Febrianto, 2009; Tchobanoglous, 2003; Reynold dan Richard, 1996).

$$q_e = \frac{qm.Kl.Ce}{1+Kl.Ce} \quad (3)$$

Dari Persamaan (3) tersebut dapat diubah menjadi Persamaan (4) sebagai berikut:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{qm.Kl} + \frac{1}{Ce} + \frac{1}{qm} \quad (4)$$

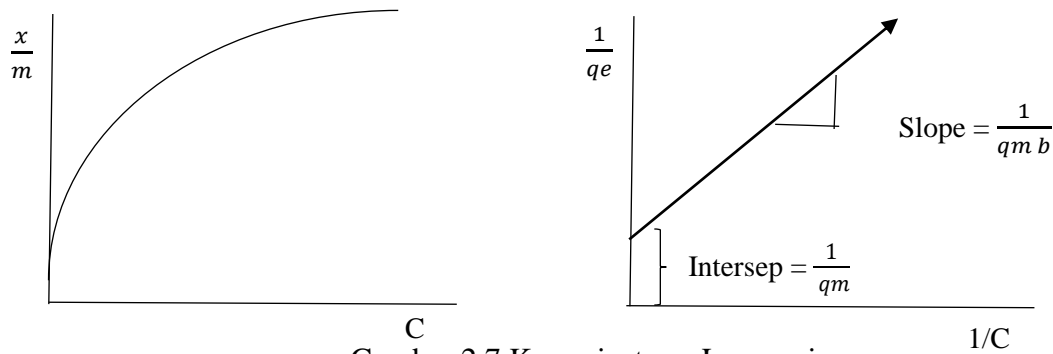
Keterangan:

q_e = Kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g)

C_e = Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/l)

KL dan qm = Konstanta Freundlich

Persamaan Langmuir (3) dan (4) digambarkan dalam bentuk grafik linier seperti terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kurva isoterm Langmuir

2.8 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan suatu kajian untuk mengidentifikasi tipe dari mekanisme adsorpsi yang terjadi pada suatu adsorben. Kinetika adsorpsi dipresentasikan sebagai kecepatan penyisihan adsorbat yang berkaitan dengan waktu kontak dari adsorben dan adsorbat (Febrianto, 2009).

Model yang digunakan dalam studi kinetika adsorpsi di antaranya yaitu Lagergren *first-order model* (orde satu) dan *pseudo-second model* (orde dua semu) (Cochrane et al., 2006). Kedua model tersebut merupakan model yang paling sesuai dan banyak digunakan dalam kajian untuk mengetahui kinetika adsorpsi logam dan mengukur tingkat adsorpsi menggunakan adsorben. Persamaan Lagergren orde satu seperti pada Persamaan (5) (Cochrane et al., 2006).

$$\text{Log } (q_e - q_t) = \text{Log } q_e - \frac{K_1}{2,303} t \quad (5)$$

Keterangan :

q_e = Jumlah ion yang terserap pada kesetimbangan (mg/g)

q_t = Jumlah ion yang terserap pada waktu t (mg/g)

K_1 = Konstanta kecepatan adsorpsi (menit^{-1})

Berdasarkan Persamaan (5), dapat diketahui konstanta kecepatan adsorpsi (K_1) dengan cara membuat regresi linier dengan fungsi $\log(q_e - q_t)$ terhadap t (waktu), sedangkan untuk persamaan pseudo orde dua yang dikembangkan Ho (2006) didasarkan terhadap laju adsorpsi pada fase padat, yang dinyatakan dalam Persamaan (6) sebagai berikut;

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (6)$$

Kemudian dibuat grafik antara (t/qt) terhadap t (waktu), maka diperoleh harga q_e (terhitung) dan K_2 , dimana q_e ialah jumlah adsorbat yang terserap pada kesetimbangan (mg/g).

qt ialah jumlah adsorbat yang terserap pada waktu t (mg/g) dan K_2 merupakan konstanta laju orde dua ($\text{g/mg} \cdot \text{menit}^{-1}$)

2.9 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi dan kecepatan adsorpsi yaitu (Anonim, 2009; Jamhari, 2009);

a. Luas permukaan spesifik

Luas permukaan suatu adsorben mempengaruhi proses adsorpsi yang terjadi, semakin luas permukaan adsorben, maka makin banyak zat yang teradsorpsi. Luas permukaan adsorben ditentukan oleh ukuran diameter dan jumlah dari adsorben, karena peningkatan luas permukaan media sebanding dengan peningkatan tingkat adsorpsi yang sebanding dengan penurunan ukuran (Chereminofoff, 1974).

b. Jenis Adsorbat

Peningkatan polarisabilitas adsorbat akan meningkatkan kemampuan adsorpsi molekul yang mempunyai polarisabilitas yang tinggi (polar), karena memiliki kemampuan tarik menarik terhadap molekul lain dibandingkan molekul yang tidak dapat membentuk dipol (non polar). Peningkatan berat molekul adsorbat dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi. Adsorbat dengan rantai yang bercabang biasanya lebih mudah diadsorpsi dibandingkan rantai yang lurus.

c. Konsentrasi Adsorbat

Semakin besar konsentrasi adsorbat dalam larutan maka semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben. Akibatnya adsorben akan mudah mengalami saturasi.

d. Temperatur

Pemanasan atau pengaktifan adsorben akan meningkatkan daya serap adsorben terhadap adsorbat menyebabkan pori-pori adsorben lebih terbuka. pemanasan yang terlalu tinggi menyebabkan rusaknya adsorben sehingga kemampuan penyerapannya menurun.

e. pH (Tingkat keasaman)

pH larutan mempengaruhi kelarutan ion logam. Hal ini terjadi karena adanya netralisasi dari muatan-muatan negatif pada permukaan karbon dengan meningkatnya konsentrasi ion hidrogen, sehingga menyediakan permukaan aktif pada karbon yang lebih banyak. Nilai pH optimum untuk proses adsorpsi logam berat umumnya berbeda-beda dan dapat diperoleh melalui penelitian laboratorium. Nilai pH efektif untuk adsorpsi logam Cr adalah pada pH 2-3.

f. Kecepatan Pengadukan

Kecepatan pengadukan menentukan kecepatan waktu kontak adsorben dan adsorbat. Jika pengadukan terlalu lambat, maka proses adsorpsi berlangsung lambat pula; tetapi pengadukan yang terlalu cepat dapat menyebabkan struktur adsorben cepat rusak sehingga proses adsorpsi tidak optimal.

g. Waktu Kontak

Penentuan waktu kontak yang menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kesetimbangan. Semakin lama waktu kontak yang terjadi pada suatu proses adsorpsi akan sebanding pula dengan adsorbat yang teradsorpsi.

Faktor-faktor di atas menjadikan adsorpsi memiliki spesifikasi dalam kemampuan menyisihkan berbagai bahan pencemar. Upaya untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi suatu adsorben telah dilakukan dengan mengacu pada faktor-faktor yang ada. Salah satu upaya yang dilakukan yaitu dengan memberikan perlakuan fisik atau kimia pada adsorben untuk memperluas permukaan adsorben yang dilakukan dengan cara memanaskan adsorben untuk memperluas permukaan dengan menghilangkan kadar air pada suhu 105°C dan zat organik pada 550°C , sedangkan perlakuan kimia yang dapat dilakukan yaitu aktivasi adsorben dengan cara perendaman pada asam atau basa. Aktivator yang sering digunakan adalah H_2SO_4 , HNO_3 , HCl , H_3PO_4 , NaOH , ZnCl_2 , dan KOH . Penelitian Ademiluyi dan David-West (2012) menunjukkan bahwa penggunaan H_2SO_4 , HNO_3 , dan HCl dapat meningkatkan kemampuan penyisihan logam karena dapat memperluas permukaan. Penggunaan H_2SO_4 5% (0,5 M) dapat meningkatkan luas permukaan adsorben dan menghilangkan pengotor yang terdapat pada adsorben sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi Pb, Cd, dan Cu menggunakan cangkang kelapa sawit (Rahman et al., 2009).

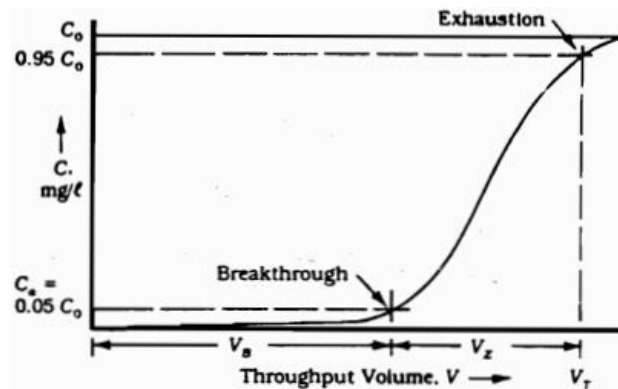
2.10 Sistem Kontinyu

Studi adsorpsi dengan sistem kontinyu dilakukan dalam sebuah kolom adsorpsi (*Fixed bed column*) skala laboratorium yang bertujuan untuk menentukan waktu operasi adsorpsi, volume air terolah sebelum tercapainya *breakthrough*, kehilangan tekanan (*head loss*) melalui kolom, dan bentuk kurva *exhaustion* (Slamet dan Masduqi, 2000).

Proses kontinyu mempunyai pendekatan yang jauh lebih baik untuk penerapan di lapangan, karena sistem operasinya yang selalu mengontakkan larutan yang segar, sehingga adsorben dapat mengadsorb dengan optimal sampai kondisi jenuhnya. Proses kontinyu dapat dioperasikan dengan *moving bed adsorbers*, *fixed bed adsorbers* atau *fluidized bed adsorbers* (Indrawanti, 2006).

Dalam penelitian ini, penurunan kadar kromium dalam limbah buatan *elektroplating* dilakukan menggunakan model *fix bed adsorption column*. Kolom *fixed bed* (Unggun tetap) adalah sebuah kolom silinder yang pada umumnya memiliki rasio panjang dan diameter yang cukup besar. Adsorpsi dilakukan dengan mengalirkan larutan adsorbat melalui unggun adsorben. Bagian atas unggun yang pertama kali kontak dengan campuran adsorbat berkonsentrasi tinggi akan dengan sangat cepat dan efektif menyerap solut yang terdapat pada fluida tersebut.

Fluida yang terus bergerak dalam kolom, menyebabkan zona daerah adsorpsi akan bergerak ke bawah, pada laju yang lebih rendah daripada kecepatan linear fluida yang melewati kolom adsorben. Pada akhirnya, setengah dari kolom adsorben akan jenuh dan konsentrasi adsorbat pada keluaran akan perlahan meningkat secara sangat cepat ketika zona adsorpsi telah mencapai bagian bawah kolom adsorben, dan proses adsorpsi ini menjadi tidak tunak karena terdapat adsorbat yang terakumulasi di dalam adsorben, sehingga dapat diketahui bahwa terjadi perpindahan massa dari fase cair ke fase padat. Proses transfer massa yang mencapai kesetimbangan antara fase cair dan penyerapnya pada fase padat secara ideal digambarkan sebagai kurva berbentuk “s” (Gambar 2.8) yang merupakan hubungan antara konsentrasi efluen dan volume terolah.



Gambar 2.8 Tipikal kurva *breakthrough* (Reynold, 1982)

Dari kurva pada Gambar 2.8 dapat diketahui titik CB (*Breakthrough point*) dan CE (*Exhaustion point*). *Breakthrough point* adalah titik dimana konsentrasi efluen meningkat akibat kemampuan adsorben dalam kolom berubah memburuk, sedangkan *exhaustion point* adalah titik dimana terjadi kejenuhan pada kolom yang ditandai dengan konsentrasi efluen mendekati konsentrasi influen. Kurva yang menghubungkan CB dan CE disebut kurva *breakthrough* seperti pada Gambar 2.8 (Indrawanti, 2006). Waktu *breakthrough* (t_b) merupakan waktu dimana titik *breakthrough* tercapai.

Desain *adsorber fixed bed* memerlukan data kesetimbangan adsorpsi, kinetika dan pemodelan matematis yang sesuai berdasarkan kurva *breathrough* yang diperoleh dari percobaan skala laboratorium. Bentuk kurva *breakhtrough* dalam kolom dipengaruhi antara lain oleh kecepatan aliran fluida, konsentrasi adsorbat dalam umpan dan tinggi *bed*. Model matematis telah banyak dikembangkan untuk mendeskripsikan penyerapan polutan pada adsorben berbentuk kolom (Pokhrel and Viraraghavan, 2008). Kinetika sistem adsorpsi yang terjadi pada *fixed bed coulumn* dianalisis dengan Model Thomas, Adam-Bohart dan pendekatan kinetika dan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kinetika.

2.10.1 Pendekatan Kinetik

Metode ini dikembangkan oleh Thomas (1984) dengan menggunakan persamaan kinetik yang merupakan pengembangan dari persamaan yang diperkenalkan oleh Bohart-Adam (1920). Data yang diperlukan untuk perencanaan kolom dengan menggunakan metode ini adalah data kurva *breakthrough* dari *kolom test*. Persamaan kinetika tersebut adalah sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{K1/Q(M.qo - C_o V)}} \quad (7)$$

dengan C_e = Konsentrasi efluen (mg/l)

C_o = konsentrasi influen (mg/l)

$K1$ = konstanta kecepatan adsorpsi

Q = debit (l/jam)

q_o = konsentrasi maksimumm fase solute pada larutan yang terserap (mg/mg)

M = jumlah massa adsorben (mg)

V = volume total yang melalui kolom (l)

Jika persamaan tersebut diubah menjadi:

$$\ln \frac{C_o}{C_e} - 1 = \frac{K1 q_o M}{Q} - \frac{K1 C_o V}{Q} \quad (8)$$

Maka akan dapat dibentuk persamaan linier $y = b + mx$, dimana sumbu Y menyatakan nilai $\ln (C_o/C_e - 1)$ sedangkan sumbu X menyatakan nilai V (volume kumulatif yang akan menghasilkan suatu grafik garis lurus dengan nilai *slope* = $\frac{K1 q_o}{Q}$ dan nilai *intersep* $\frac{K1 q_o M}{Q}$, kemudian didapatkan nilai $K1$ dan q_o .

2.11 Pendekatan matematik/ Grafik (Scale up) (Benefield, 1982)

Metode ini diperkenalkan oleh Fornwalt dan Hutcins (1996) untuk memperbesar ukuran (*scaling*) kolom adsorpsi dari data laboratorium ataupun data *pilot plant*. Keuntungan dari metode ini memungkinkan untuk menghitung total berat adsorben dan memperkirakan kolom adsorpsi baik seri maupun paralel yang akan digunakan untuk mengolah air buangan. Data yang dibutuhkan pada metode ini adalah kurva *breakthrough* dari test kolom. Dari kurva *breakthrough* didapatkan data seperti waktu saat tercapai *breakthrough*, konsentrasi dan volume limbah sat *breakthrough*. Persamaan-persamaan dalam pendekatan ini adalah (Reynold, 1982).

$$BV \text{ Desain} = \frac{Q_{desain}}{Q_b} \quad (9)$$

dengan BV desain = volumetrik flow rate desain (Bed volume/jam)

Q_{desain} = debit air desain (l/jam)

Q_b = debit dalam kolom (l/jam)

$$D = [(BV_{desain}/h) \times 4/\pi]^{0.5} \quad (10)$$

dengan D = diameter kolom (m)

h = tinggi kolom desain (m)

$$M_{desain} = BV \text{ desain} \times \text{densitas adsorben} \quad (11)$$

dengan M = massa adsorben desain (kg)

ρ adsorben = densitas adsorben (m)

$$M_t = Q \text{ desain} / V_b \quad (12)$$

$$V_b = V_s / M_{lab} \quad (13)$$

dengan M_t = berat adsorben desain tiap waktu operasi (kg)

V_b = jumlah air yang terolah tiap satuan berat adsorben (kg)

V_s = volume breakthrough (l)

M_{lab} = berat adsorben dalam kolom laboratorium (kg)

$$T_{sc} = M_{desain} / M_t \quad (14)$$

dengan T_{sc} = waktu operasi (service cycle) (jam)

$$V_{a \text{ desain}} = Q \text{ desain} / T_{sc} \quad (15)$$

$V_b \text{ desain}$ = volume breakthrough desain (l)

2.12 Adsorben dari Tempurung Kelapa

Adsorben merupakan suatu media padat yang dapat digunakan untuk menyerap zat-zat terlarut. Tempurung kelapa sangat potensial didayagunakan sebagai adsorben terutama untuk

polutan logam berat yang sangat berbahaya bagi manusia. Beberapa penelitian terdahulu telah menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa sebagai adsorben baik untuk menghilangkan warna, bau, senyawa fenol, logam berat dalam air limbah. Hasil penelitian lainnya di Universitas Lampung menunjukkan bahwa arang tempurung kelapa mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi ion Pb, Fe dan Cu. Penelitian Hameed (2009) menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa dengan aktivasi fisik pada temperatur 500-800⁰C mampu mengadsorpsi zat warna metilen biru dengan kapasitas adsorpsi 182,3 mg/g. Didukung penelitian Gilar, et al., (2013) menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa teraktivasi kimia mampu mengadsorpsi zat warna fenol dngan persentase penyerapannya sebesar 99,74%. Penelitian Herlandien (2013) menggunakan arang aktif tempurung kelapa untuk menghilangkan logam Fe dalam air lindi TPA Pakusari Jember dengan efisiensi 76,5%.



Gambar 2.9 Tempurung kelapa (a), Arang tempurung kelapa (b)

Pemilihan tempurung kelapa sebagai karbon aktif karena memiliki mikropori yang banyak sehingga mempunyai internal pori yang luas, kadar abu yang rendah, kelarutan dalam air yang tinggi, memiliki daya serap yang tinggi, tidak berbahaya bagi lingkungan, dan mempunyai reaktivitas yang tinggi (Dhidan, 2012). Banyaknya pori berkorelasi dengan luas permukaan yang meningkatkan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif sehingga mikropori merupakan salah satu kelebihan dari karbon aktif (Marsh dan Reinoso 2006, Faujiah, 2012).

Tabel 2.2 Ukuran pori-pori karbon aktif secara umum

	<i>Micropores</i>	<i>Mesopores or transitional pores</i>	<i>Macropores</i>
<i>diameter</i>	<2	2-50	>50
<i>Pore volume (cm³/g)</i>	0.15-0.5	0.02-0.1	0.2-0.5
<i>Surface area (m²/g)</i>	100-1000	10-100	0,5-2
<i>(Partikel density 0.6-0.9 g/cm³; porosity 0.4-0.6)</i>			

Di pasaran karbon aktif dijual dengan berbagai macam ukuran. Tetapi sebenarnya dari ukuran tersebut terbagi menjadi dua jenis saja yaitu *Powdered Activated Carbon* (PAC) dan *Granulated Activated Carbon* (GAC) (Suhadak, 2005). Adsorben GAC yang berasal dari tempurung kelapa untuk *fixed bed adsorber* biasanya memiliki rentang diameter 0,4-2,4 mm.

2.13 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang pengolahan logam berat dalam limbah industri menggunakan metode presipitasi dan adsorpsi telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu.

Penelitian Usprihatin et al., (2010) dalam penelitiannya menggunakan metode presipitasi dan adsorpsi karbon aktif untuk menyisihkan logam Cr, Ag, dan Hg dalam limbah cair Rumah Sakit. Diperoleh pH optimum penurunan Cr pada proses presipitasi adalah 10 sedangkan Ag dan Hg adalah 12. Dalam penelitian ini meskipun proses presipitasi dapat menurunkan konsentrasi logam berat namun logam yang terlarut masih relatif tinggi sehingga pengolahan dilanjutkan menggunakan proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. Dari kombinasi kedua metode yang dilakukan mampu menyisihkan Cr, Ag dan Hg hingga di bawah konsentrasi standar baku mutu.

Penelitian Wardhani (2010), melakukan penurunan kadar logam krom dalam limbah penyamakan kulit menggunakan kombinasi metode presipitasi dan adsorpsi. Presipitasi dilakukan menggunakan natrium hidroksida (NaOH) sebagai presipitan sedangkan untuk proses adsorpsi menggunakan karbon aktif komersial. Penelitian dilakukan secara *batch* dan diperoleh efisiensi sebesar 99,67%.

Penelitian Adli (2012), pengendapan limbah cair laboratorium dengan presipitasi menggunakan natrium hidroksida (NaOH) 1 molar mampu menurunkan logam Cu pada pH 9 dengan efisiensi penurunan sebesar 92,52%, kemudian dilanjutkan proses adsorpsi menggunakan karbon aktif dengan massa adsorben sebanyak 20 gram mampu menurunkan kadar Cu hingga 100% dari konsentrasi awal yaitu 139 mg/l.

Hal yang sama dilakukan pada penelitian Meirinna (2013) dengan mengkombinasikan metode presipitasi dan adsorpsi secara *batch* dalam menurunkan logam krom. Besarnya efisiensi penyisihan yang diperoleh adalah sebesar 99,97% dari konsentrasi awal, jika dibandingkan dengan pengolahan tanpa kombinasi. Pada proses presipitasi pH optimum dalam penyisihan Cr adalah pada pH 8.

Penelitian Wilyanda et al (2015) melakukan presipitasi logam Cu dan Fe dalam limbah cair dengan hidroksida (NaOH) dan diperoleh efisiensi penurunan sebesar 76,26% untuk Cu dan Fe sebesar 51,77%.

Penelitian pengolahan logam berat dalam limbah melalui adsorpsi dengan sistem kontinyu umumnya menggunakan karbon aktif granular dari tempurung kelapa, *charcoal* dan batu bintang. Indrawanti (2006) melakukan adsorpsi logam Pb secara kontinyu menggunakan granular karbon aktif dari akar wangi. Efisiensi penyisihan Pb dapat dicapai pada ketinggian adsorben maksimum pada variasi konsentrasi yang dilakukan.

Penelitian Fajrianti et al (2016), penurunan kadar logam Cr dan Zn dalam limbah *elektroplating* menggunakan adsorpsi sistem kontinyu dengan memvariasikan debit (60 ml/menit, 75 ml/menit, dan 90 ml/menit) dan diperoleh waktu *breakthrough* untuk masing-masing debit secara berturut-turut adalah 510 menit, 1000 menit, 1775 menit.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III

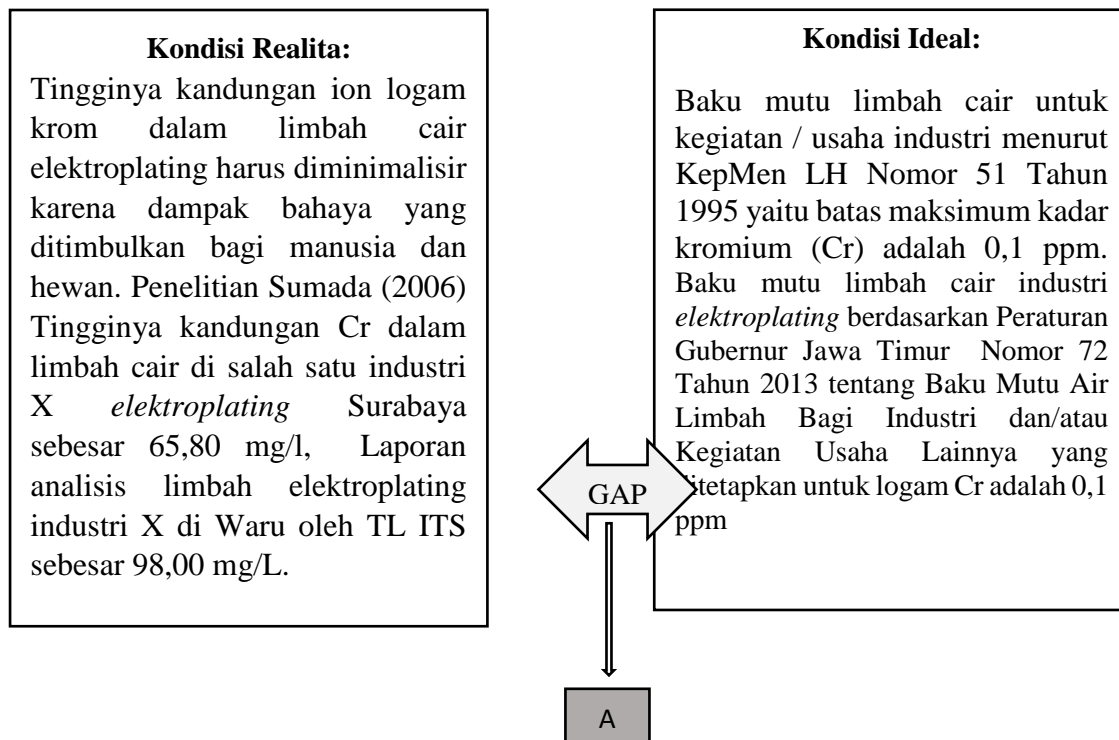
METODOLOGI PENELITIAN

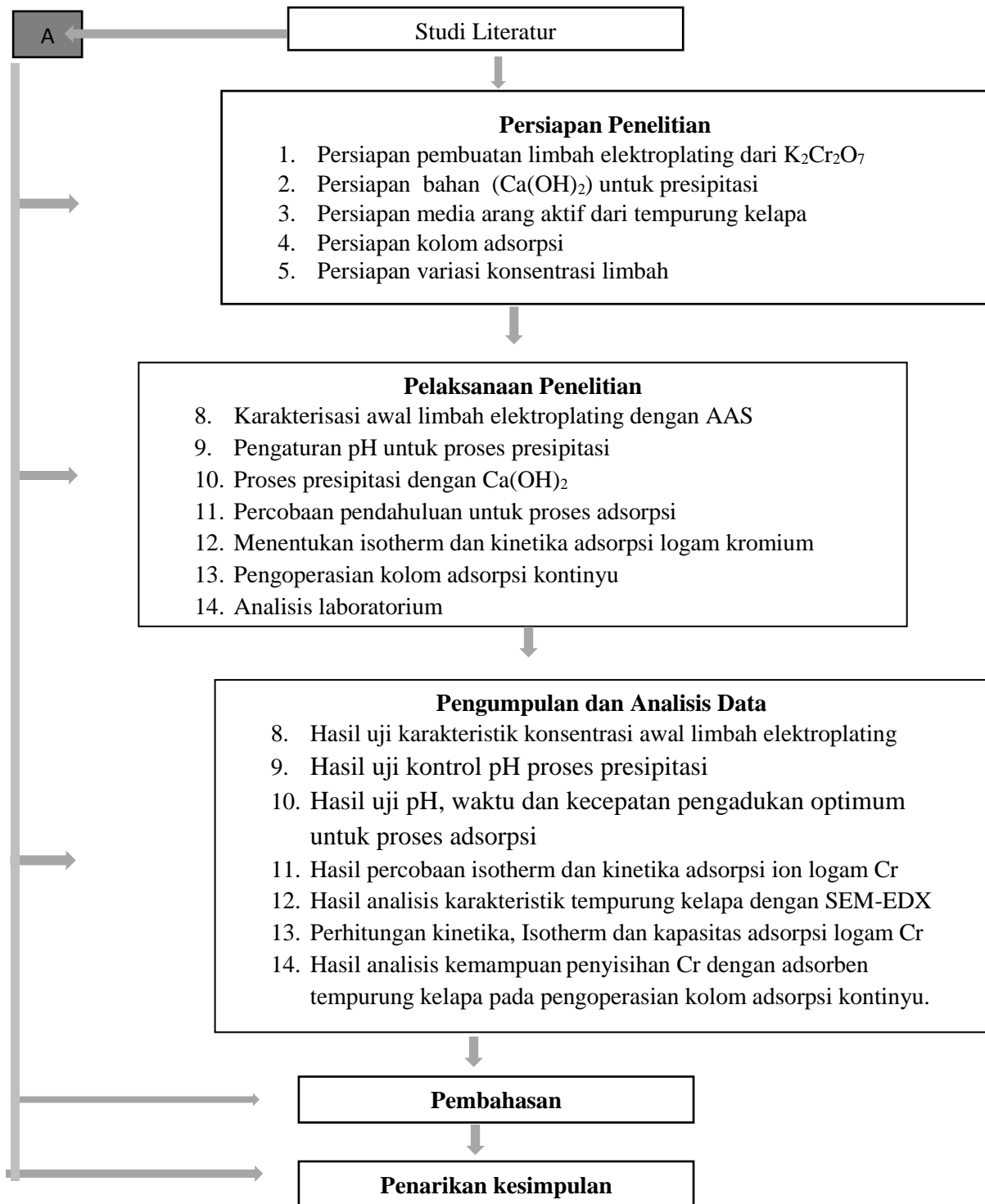
3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan acuan dalam pelaksanaan penelitian berdasarkan pada ide dengan mengkaji permasalahan untuk mencapai tujuan penelitian. Pada penelitian ini dilakukan penurunan kadar kromium dalam limbah elektroplating menggunakan metode presipitasi dan adsorpsi. Tahapan penelitian yaitu air limbah *elektroplating* terlebih dahulu diolah menggunakan metode presipitasi dengan kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Efluen presipitasi kemudian diolah dengan proses adsorpsi. Proses adsorpsi dilakukan secara *batch* dan kontinyu memanfaatkan media tempurung kelapa yang telah diaktivasi.

3.2 Kerangka Perencanaan Penelitian

Perencanaan penelitian yang dilakukan disusun dalam bentuk kerangka penelitian atau diagram alir sehingga memudahkan jalannya penelitian. Kerangka penelitian diawali dengan perumusan ide penelitian, studi literatur, persiapan penelitian, percobaan pendahuluan, pelaksanaan penelitian, pengumpulan data, analisa data dan pembahasan, pembuatan laporan, penarikan kesimpulan dan saran dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan mulai dari tahap awal sampai penarikan kesimpulan. Studi literatur yang digunakan merupakan teori-teori tentang metode pengolahan limbah industri yang mengandung logam dengan metode presipitasi dan adsorpsi. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini adalah jurnal ilmiah, buku teks, laporan tugas akhir dan semua informasi yang mendukung.

3.4 Variasi Penelitian

Variabel penelitian yang diteliti dalam penelitian ini dibatasi pada variabel-variabel sebagai berikut:

a. Proses Presipitasi

Pada proses presipitasi dilakukan variasi pH (8; 8,5; 9; 9,5 dan 10) pada kondisi basa.

b. Proses Adsorpsi

- Proses Adsorpsi dilaksanakan secara batch dengan variasikan diameter media yang lolos ayakan no. 8 (d1), diameter media lolos ayakan no.10 (d2) dan diameter media lolos ayakan 12 (d3), variasi konsentrasi (100%, 75% dan 50%). Variasi berat media adsorben (0,5 gr, 1 gr, 2 gr, 4 gr, 6 gr dan 8 gr). Variasi pH untuk proses (2,3,5,7 dan 8) pada kondisi sedikit asam dan kondisi sedikit basa untuk melihat kapasitas adsorpsi optimum.
- Pada sistem kontinyu dengan *fixed bed coulumn* variasi ketinggian media dalam kolom adsorpsi adalah: 20 cm, 30 cm dan 40 cm.

3.5 Persiapan Penelitian

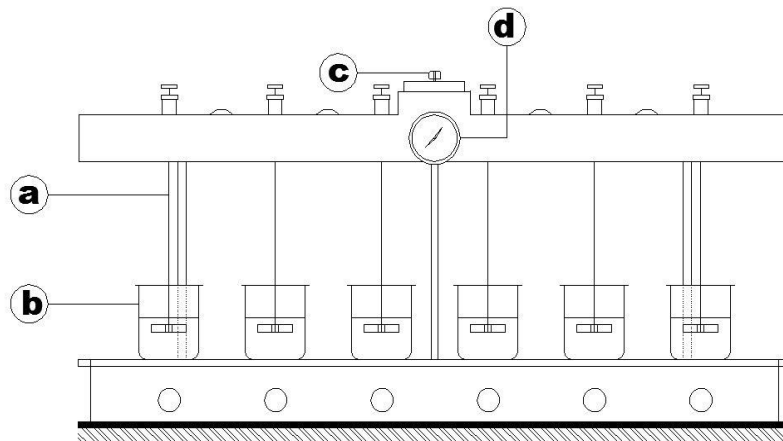
Persiapan penelitian dilakukan mulai bulan Maret 2018. Persiapan yang dilakukan adalah pembuatan reaktor kontinyu, pembuatan larutan *elektroplating*, penyiapan bahan adsorben, penyiapan peralatan gelas dan bahan dilakukan sebelum dimulai penelitian. Persiapan karbon aktif dari tempurung kelapa dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan ITS.

3.5.1 Persiapan Reaktor Penelitian

Model reaktor yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua sistem reaktor yaitu sistem *batch* dan sistem kontinyu.

a) Reaktor Sistem *Batch*

Persiapan peralatan proses adsorpsi dilakukan menyiapkan peralatan gelas yang digunakan dalam proses presipitasi maupun dalam penentuan isotherm dan kinetika adsorpsi dilakukan secara *batch* menggunakan peralatan *jar test*. Alat *jar-test* memiliki 6 buah padel dengan ukuran panjang 6 cm, lebar 2,5 cm dan mempunyai pengatur kecepatan putaran manual analog (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Alat Jar Test yang digunakan dalam sistem *batch*

b) Reaktor Sistem Kontinyu

Pelaksanaan penelitian dengan proses kontinyu dilakukan dalam *fixed bed column*. Model aliran yang digunakan adalah aliran secara vertikal (aliran dari atas ke bawah). Pada penelitian ini digunakan kolom adsorpsi dengan diameter 3 cm dan tinggi kolom 60 cm serta debit aliran adalah 35 ml/menit. Model reaktor kontinyu pada proses adsorpsi terdiri dari empat bagian yaitu :

a) Kolom reaktor

Digunakan pipa kaca akrilik dengan diameter 3 cm dan tinggi kolom 60 cm. Kolom tersebut dilengkapi dengan slang plastik untuk aliran *effluent* pada bagian bawah, dan dilengkapi dengan *valve* pengatur debit. Pada bagian atas disediakan *over flow* untuk menjaga tinggi air terhadap media tetap konstan. Pada dasar kolom dipasang *glass wool* yang berfungsi untuk menahan media sehingga tidak terbawa aliran dan mencegah penyumbatan pada slang *effluent*.

b) Bak Penampung Influent

Berfungsi untuk menampung influent yang akan dialirkan ke dalam kolom reaktor. Digunakan bahan dari plastik dengan volume 25 liter, yang dilengkapi dengan slang untuk mengalirkan sampel air, dan dilengkapi dengan *valve* untuk mengatur debit influent.

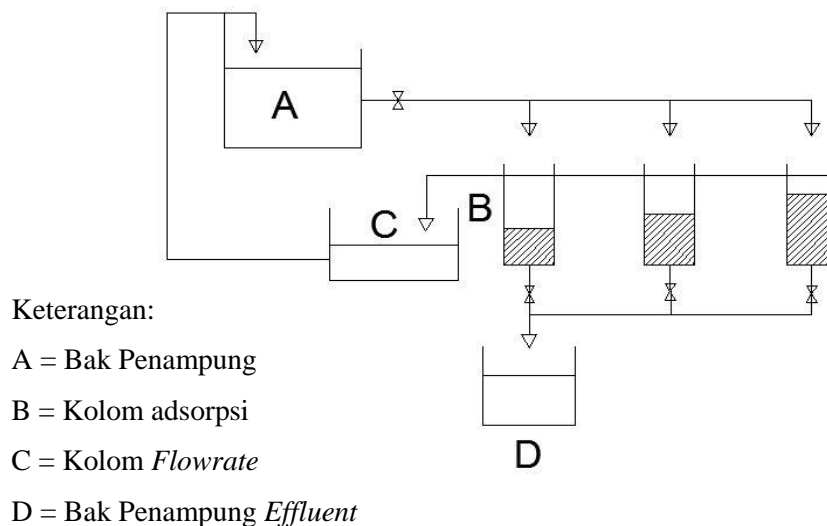
c) Bak penampung *effluent*

Berfungsi untuk menampung *effluent*, terbuat dari bak plastik dengan volume 10 liter.

d) Bak penampung *over flow*

Berfungsi untuk menampung kelebihan sampel air dari bak pengatur debit *influent* yang kemudian dapat mengembalikan sampel air ke bak penampung *influent*.

Gambar rangkaian model reaktor proses kontinu yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Kolom adsorpsi (*Fixed bed column*)

3.5.2 Persiapan Limbah Buatan Elektroplating

Air limbah *elektroplating* yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair buatan. Pembuatan limbah cair kromium dengan konsentrasi 1000 ppm dapat dilakukan dengan cara melarutkan 0.490 gr dalam 200 ml aquadest kemudian diencerkan dengan menambahkan aquadest hingga tanda 1000 ml. Pengaturan pH larutan dengan menambahkan H_2SO_4 hingga pH menjadi 3 seperti limbah asli. Pada kondisi asam konsentrasi Cr masih dalam kondisi terlarut. Kemudian konsentrasi Cr 98,00 mg/L dilakukan dengan cara memipet sebanyak 98 ml larutan stok kromium dan diencerkan menggunakan aquadest dalam labu 1000 ml sehingga diperoleh larutan kromium 98 ppm. Larutan ini selanjutnya kemudian digunakan untuk proses presipitasi.

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan selama 6 bulan yaitu dari bulan Maret- Oktober 2018. Persiapan bahan dan alat penelitian serta pelaksanaan proses presipitasi, adsorpsi *batch* dan kontinu dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan ITS. Preparasi dan

pengayakan dilakukan di Laboratorium Beton Teknik Sipil ITS. Karakterisasi Adsorben sebelum dan sesudah digunakan dalam proses adsorpsi dilakukan dengan metode SEM-EDX merk *Carl Zeis (EVO MA 10)* di Laboratorium Energi LPPM ITS, kemudian Analisis kandungan Logam dilakukan menggunakan metode AAS merk *Hitachi Type Z 2000* juga dilakukan di Laboratorium Energi ITS.

3.6.1 Analisis Karakteristik Awal Limbah Buatan Elektroplating

Sampel limbah cair *elektroplating* yang telah dipersiapkan, terlebih dahulu dikarakterisasi untuk mengetahui kondisi awal air limbah sebelum proses pengolahan. Analisis yang dilakukan adalah pengukuran pH dan kadar logam kromium dalam limbah menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*).

3.6.2 Pembuatan Adsorben Karbon Aktif

Adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi dalam penelitian ini adalah tempurung kelapa yang dijual di pasar untuk kebutuhan rumah tangga yang belum diaktivasi. Arang yang diperoleh dilanjutkan dengan proses karbonisasi pada tanur dengan suhu 500°C selama 15 menit.

a) Pengayakan adsorben

Arang tempurung kelapa setelah proses karbonisasi, digerus dan diayak sehingga diperoleh arang yang lolos ayakan 8 mesh, 10 mesh dan 12 mesh sesuai variasi ukuran media yang digunakan. Adsorben lolos ayakan no 8 memiliki ukuran 2,36 mm, ayakan no 10 memiliki 2,0 mm dan lolos ayakan nomor 12 adalah sebsesar 1,70 mm.

b) Aktivasi Adsorben

Proses aktivasi dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Teknik Lingkungan ITS-Surabaya. Arang tempurung kelapa yang lolos ayakan 8 mesh, 10 mesh dan 12 mesh, masing-masing direndam dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4) 4 N selama 24 jam, kemudian dicuci dengan aquades sampai pH netral yang diuji menggunakan pH meter. Tahap selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam.

3.6.3 Uji Pendukung Adsorben

Uji pendukung ini dilakukan untuk memperoleh data pendukung mengenai keadaan fisik media yang digunakan dalam penelitian ini. Uji-uji yang dilakukan meliputi; pengukuran berat volume dan uji ketahanan.

a). Uji Ketahanan Fisik Media

Uji ketahanan fisik media bertujuan untuk mengetahui pengurangan berat media setelah dilakukan perendaman dengan larutan HCl 20%. Kelayakan fisik media dapat terpenuhi apabila pengurangan berat media tidak lebih dari 2% berat media mula-mula. Langkah-langkah pelaksanaan uji ketahanan fisik media ini adalah:

- Menimbang 10 gr media adsorben yang sudah diayak dan telah disimpan dalam oven 105°C. Menimbang sebagai berat bersih mula-mula.
- Merendam media dalam larutan HCl 20% selama 24 jam.
- Meniriskan dan kemudian mengeringkan media dengan oven 105°C selama 24 jam.
- Menimbang media sebagai berat kering akhir.

b). Uji Densitas Media

Uji densitas media meliputi *Apparent Density* dan *True Bulk Density*. *Apparent Density* merupakan berat jenis bahan media kondisi kering, sedangkan *True bulk density* merupakan berat jenis media pada keadaan jenuh air. Pada penelitian ini dilakukan uji densitas media dengan prosedur sebagai berikut (Yuniarto, 1999):

❖ *True Bulk Density*

True Bulk Density dilakukan dengan menimbang 50 gram media yang telah dikeringkan, dimasukkan dalam *beaker glass* dan merendam media dengan air suling. Untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara yang terperangkap dilakukan pemanasan atau pendidihan, pengadukan dan pengetukan. Setelah dingin, dilakukan pemisahan media dengan air, kemudian melakukan penimbangan terhadap media basah tersebut (sebagai P gr). Dimasukkan media yang telah ditimbang ke dalam gelas ukur 250 ml yang telah berisi 100 ml air suling. Volume yang terjadi dibaca sebagai V ml. *True Bulk Density* dihitung dengan rumus:

$$\rho_{td} \text{ (gr/ml)} = \frac{50}{V-P-50} \quad (16)$$

❖ *Apparent Density*

Memasukkan media adsorben yang telah dikeringkan sebanyak kira-kira 50 ml ke dalam gelas ukur 100 ml. Memadatkan media sampai 50 ml dengan cara menekan bagian permukaan media dan juga mengetukkan gelas ukur. Mengeluarkan media dari dalam gelas ukur dan menimbang beratnya. *Apparent density* dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho_{AD} \text{ (gr/ml)} = \frac{\text{Berat Kering karbon}}{50 \text{ ml}} \quad (17)$$

3.6.4 Karakterisasi Adsorben dengan Metode SEM-EDX

Sebelum dan sesudah digunakan sebagai adsorben, adsorben yang telah teraktivasi terlebih dahulu dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray*) di Laboratorium Energi LPPM ITS. Tujuan karakterisasi adsorben sebelum adsorpsi adalah untuk mengetahui % massa komponen penyusun adsorben dan mengetahui distribusi pori yang terdapat pada permukaan adsorben. Sedangkan karakterisasi setelah proses adsorpsi adalah untuk mengetahui persentase logam yang telah terserap pada permukaan adsorben.

3.6.5 Proses Presipitasi

Proses presipitasi logam Cr^{3+} dalam limbah, dilakukan secara batch menggunakan peralatan *jar test* di Laboratorium Pemulihan Air Teknik Lingkungan ITS Surabaya. Proses batch dilakukan dengan cara diambil air limbah sebanyak 1 liter, dimasukkan dalam gelas beaker dan ditambahkan larutan kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 10% (b/v) sebagai *precipitating agent* secara perlahan-lahan hingga mencapai pH (8; 8,5; 9; 9,5; 10) yang diinginkan, kemudian diujikan pada dua variasi kecepatan pengadukan dengan tujuan untuk mengetahui kecepatan pengadukan optimum.

Proses presipitasi dilakukan dengan pengadukan cepat yaitu 100rpm dan 120 rpm selama 2 menit dan diikuti pengadukan lambat 30 rpm selama 10 menit. Setelah pengadukan lambat, sampel limbah kemudian diendapkan selama 30 menit (Riskanora, 2008). Endapan yang telah terbentuk disaring dan dipisahkan dari filtratnya. Filtrat yang diperoleh diuji kadar Cr menggunakan AAS (*atomic absorption spectroscopy*) untuk mengetahui kadar Cr yang tersisa dalam air limbah setelah proses presipitasi (Nugroho et al., 2016). Besarnya kadar yang diketahui akan diolah pada tahap selanjutnya yaitu proses adsorpsi. Pengolahan limbah hasil presipitasi dilanjutkan dengan proses adsorpsi menggunakan pH optimum (pH basa).

3.6.6 Pengenceran Air Limbah (Proses Adsorpsi)

Pengenceran konsentrasi larutan efluen hasil proses presipitasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui konsentrasi optimum ketika proses adsorpsi dilakukan untuk selanjutnya diaplikasikan pada proses kontinyu. Pengenceran larutan dibuat dalam tiga variasi konsentrasi yaitu;

- Larutan konsentrasi 1

Variasi ini menggunakan air limbah efluen proses presipitasi tanpa dilakukan proses pencampuran dengan aquades yang selanjutnya disebut sebagai larutan konsentrasi (100%).

- Larutan konsentrasi 2
Variasi ini menggunakan campuran air limbah efluen proses presipitasi dan aquades dengan perbandingan air limbah dan aquades adalah 3:1, yang selanjutnya disebut sebagai larutan konsentrasi (75%).
- Larutan konsentrasi variasi ini menggunakan campuran air limbah efluen proses presipitasi dan aquades dengan perbandingan air limbah elektroplating dan aquades 1:1, yang selanjutnya disebut sebagai larutan konsentrasi (50%).

3.6.7 Percobaan Pendahuluan Proses Adsorpsi

Percobaan pendahuluan dilakukan secara batch menggunakan peralatan *jar test* dengan tujuan untuk memperoleh keadaan optimum, kemudian akan dijadikan sebagai acuan dalam penentuan isotherm dan kinetika adsorpsi.

a. Penentuan pH Optimum untuk Proses Adsorpsi

Penentuan pH perlu dilakukan karena limbah yang akan diolah pada proses adsorpsi merupakan hasil proses presipitasi yang mempunyai pH basa. Penentuan pH optimum untuk proses adsorpsi dilakukan secara *batch* dengan bervariasi pH 3,4,5,6,7,8,9 dalam 250 ml limbah dengan massa adsorben 2 gram. Pemilihan *range* pH dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan adsorben untuk menyisihkan logam krom dalam limbah. Larutan limbah yang mengandung Cr diatur pHnya menggunakan larutan H₂SO₄ 1N kemudian diatur kecepatan pengadukan pada 90 rpm selama satu jam berdasarkan penelitian Syauqiah et al (2011). Setelah proses adsorpsi masing-masing larutan disaring dan filtratnya diuji dengan AAS untuk mengetahui kadar ion Cr yang tidak teradsorpsi (Nadhifah et al.,2013).

b. Penentuan dosis adsorben

Penentuan dosis adsorben dilakukan dalam proses *batch* dengan bervariasi dosis (0,5 gr; 1gr, 2gr,4gr, 6gr,8gr) pada 250 ml sampel dan kecepatan putaran 100 rpm selama 3 jam . Hasil dari dosis adsorben yang paling baik digunakan sebagai acuan dalam sistem *batch* menggunakan variasi tiga ukuran adsorben (8,10 dan 12 *mesh*).

c. Penentuan Waktu Pengadukan

Penentuan waktu pengadukan dilakukan dengan proses *batch*. Membubuhkan dosis adsorben hasil dari poin (b) pada kecepatan pengadukan 100rpm kemudian diambil *supernatant* pada interval 30 menit dan diukur menggunakan AAS. Hasil yang diperoleh dari penentuan waktu pengadukan kemudian digunakan sebagai waktu kesetimbangan proses adsorpsi.

d. Penentuan kecepatan pengadukan

Penentuan kecepatan pengadukan atau agitasi dilakukan dengan proses batch. Dosis yang dibubuhkan berdasarkan poin (b) dan waktu pengadukan berdasarkan poin (c). Variasi kecepatan digunakan adalah 80rpm, 100 rpm, 120 rpm, dan 150 rpm. Hasil dari penentuan kecepatan pengadukan akan digunakan sebagai agitasi proses pengadukan.

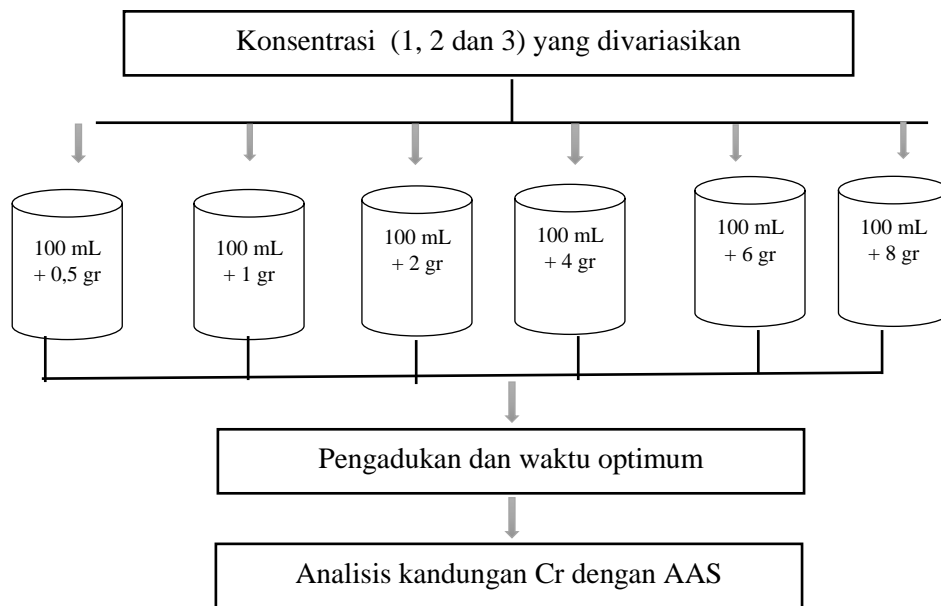
3.6.8 Proses Adsorpsi

a) Adsorpsi Isotherm

Percobaan Isotherm dalam penelitian ini dilakukan secara batch menggunakan peralatan *jar test*. Pada percobaan ini digunakan massa adsorben yang telah ditentukan dengan variasi (1gr, 2gr, 4gr, 6gr, 8gr) untuk masing-masing-masing ukuran adsorben (8 mesh, 10 mesh, dan 12 mesh) dalam 100 mL sampel limbah pada gelas beaker 1000 ml.. Proses adsorpsi dilakukan untuk setiap konsentrasi (23,10mg/l, 16,52 mg/l dan 11,52 mg/l). Kecepatan dan waktu pengadukan yang digunakan merupakan nilai optimum yang didapat dari percobaan pendahuluan. Selanjutnya dilakukan penyaringan menggunakan kertas *whatman*. Filtrat dari tiap konsentrasi dengan variasi massa pada beaker dianalisis dengan metode AAS (*atomic absorption spectroscopy*) di Laboratorium LPPM ITS Surabaya. Skema adsorpsi Isotherm ditunjukkan pada Gambar 3.4.

b) Kinetika Adsorpsi

Percobaan kinetika adsorpsi oleh arang aktif dilakukan secara *batch* di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Massa adsorben yang digunakan adalah massa optimum yang diperoleh dari hasil percobaan isotherm. Percobaan dilakukan dengan memasukkan sampel air limbah logam sebanyak 100 ml ke dalam tiga beaker gelas volume 1000 ml, kemudian ke dalam masing-masing beaker gelas ditambahkan adsorben (ukuran 8 mesh, 10 mesh dan 12 mesh) sebanyak massa optimum yang diperoleh. Selanjutnya dilakukan pengadukan terhadap sampel limbah dengan kecepatan optimum dari percobaan pendahuluan. Pengambilan filtrat dilakukan pada jam 0,5 jam; 1 jam; 2 jam; 4 jam; 6 jam dan filtrat tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode AAS (*atomic absorption spectroscopy*) di Laboratorium LPPM ITS Surabaya. Tahapan yang sama dilakukan untuk tiga variasi konsentrasi (23,10mg/l, 16,52 mg/l dan 11,52 mg/l).



Gambar 3.4 Skema percobaan penentuan isotherm dan kapasitas adsorpsi

c) Adsorpsi Kontinyu

Proses adsorpsi dengan sistem kontinyu dilakukan menggunakan adsorben ukuran granular yang memiliki kapasitas adsorpsi terbaik hasil percobaan batch. Proses kontinyu dilakukan menggunakan konsentrasi air limbah terendah (11,52 mg/l) yang merupakan konsentrasi larutan dengan efisiensi penyisihan terbaik pada proses *batch* kemudian divariasikan dengan tinggi media 20 cm, 30 cm, dan 40 cm.

d) Proses Adsorpsi (tanpa presipitasi)

Pada tahap ini dilakukan proses adsorpsi logam kromium dalam limbah buatan menggunakan adsorben tempurung kelapa. Proses adsorpsi ini dilakukan tanpa melalui proses presipitasi. Variasi konsentrasi dilakukan pada air limbah yang telah dipersiapkan menjadi 23,10mg/l, 16,52 mg/l dan 11,52 mg/l, kemudian dilakukan secara batch menggunakan ukuran adsorben yang berbeda (8 mesh, 10 mesh dan 12 mesh) dengan massa adsorben sebanyak 6 gram, dan waktu dan kecepatan optimum yang diperoleh pada percobaan pendahuluan. Selanjutnya dilakukan penyaringan menggunakan kertas *whatman*. Filtrat dari tiap konsentrasi kemudian dianalisis dengan metode AAS (*atomic absorption spectroscopy*) di Laboratorium LPPM ITS Surabaya.

3.7 Data Hasil Penelitian

Data yang dihasilkan dari penelitian pengolahan logam kromium dalam limbah buatan elektroplating menggunakan metode presipitasi, metode adsorpsi tanpa presipitasi, dan kombinasi kedua metode tersebut adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik tempurung kelapa sebelum dan setelah digunakan sebagai adsorben
2. Karakteristik awal limbah buatan elektroplating
3. pH dan kecepatan pengadukan optimum pada penurunan kadar krom dengan proses presipitasi.
4. Efisiensi penyisihan kadar krom dalam limbah setelah proses presipitasi
5. Efisiensi penyisihan kadar krom menggunakan metode adsorpsi
6. Pengaruh variasi massa dan waktu pada proses batch dalam menentukan isotherm dan kinetika adsorpsi
7. Data waktu *breakthrough* untuk variasi tinggi kolom pada sistem kontinyu.
8. Efisiensi penyisihan kadar krom dalam limbah menggunakan kombinasi kedua metode (presipitasi dan adsorpsi).
9. Data Desain Kolom dengan pendekatan *scale up*.

3.8 Pembahasan

Pembahasan dilakukan berdasarkan hasil analisis data dan mengacu pada studi literatur yang telah dilakukan. Pembahasan dilakukan dengan membandingkan parameter yang telah diujikan menggunakan metode presipitasi dan adsorpsi dalam penelitian ini, kemudian model matematis adsorpsi dan kinetika menggunakan sistem batch dan kontinyu dalam menyisihkan logam yang telah diperoleh.

3.9 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Tahap penarikan kesimpulan merupakan tahap akhir dalam penelitian ini. Kesimpulan diperoleh berdasarkan hasil analisis dan pembahasan terhadap data-data yang diperoleh dalam penelitian di laboratorium. Kesimpulan yang dihasilkan merupakan ulasan tentang tujuan penelitian. Pemberian saran dilakukan dengan tujuan perbaikan dan pengembangan penelitian selanjutnya terkait pengolahan limbah cair industri dengan metode presipitasi dan adsorpsi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui efisiensi penyisihan kromium dalam limbah buatan elektroplating dengan menggunakan kombinasi metode presipitasi dan adsorpsi. Pada proses presipitasi kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) digunakan sebagai bahan presipitan untuk mengikat ion Cr dalam limbah sehingga mengurangi konsentrasi ion logam Cr. Presipitasi merupakan tahap awal pengolahan limbah. Sisa konsentrasi Cr dalam efluen proses presipitasi selanjutnya diolah dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben yang berasal dari tempurung kelapa dan telah diaktivasi asam. Proses adsorpsi dilakukan secara bertahap yaitu penentuan kondisi optimum untuk proses adsorpsi, penentuan isotherm dan kinetika adsorpsi pada sistem *batch* dengan beberapa variasi perlakuan yaitu ukuran diameter adsorben, konsentrasi larutan. Proses adsorpsi sistem kontinyu dilanjutkan menggunakan variasi ketinggian adsorben dalam kolom terhadap konsentrasi terbaik yang diperoleh sebelumnya pada proses *batch*. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk mendesain kolom adsorpsi *pilot plant*.

4.1 Karakteristik Limbah Asli Elektroplating dan Limbah Buatan

Pada penelitian ini digunakan limbah buatan yang mengandung kromium. Limbah buatan ini dibuat menggunakan bahan p.a $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (merck) berdasarkan data hasil analisis limbah elektroplating dari salah satu industri X di Surabaya. Karakteristik limbah Industri X di Surabaya tersebut secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Data karakteristik limbah cair elektroplating (Industri X) Surabaya

Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah*)	Hasil Analisa
pH	-	6-9	3,00
TSS	mg/L	20	18,00
Sianida	mg/L CN	0,2	1,60
Kromium Valensi 6	mg/L Cr^{6+}	0,1	2,06
Kromium	mg/L Cr	-	98,00
Kadmium	mg/L Cd	0,05	0,00
Tembaga	mg/L Cu	0,6	50,50
Nikel	mg/L Ni	1	0,32
Seng	mg/L Zn	1	10,21

Sumber: Hasil Laboratorium Teknik Lingkungan

Hasil analisis karakteristik limbah cair industri X di Surabaya (Tabel 4.1) mengandung berbagai macam logam berat seperti kromium (Cr), sianida (CN), tembaga (Cu) dan seng (Zn) yang telah melebihi standar baku mutu air limbah yang ditetapkan. Dari hasil analisis, kandungan kromium adalah yang tertinggi yaitu sebesar 98,00 mg/L sedangkan menurut peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, batas maksimum Cr dalam limbah adalah 0,1 ppm dan menurut KepMen LH Nomor 51 Tahun 1995 batas maksimum limbah cair untuk kegiatan/usaha industri kadar kromium (Cr) adalah 0,1 ppm. Penggunaan logam kromium sebagai parameter dalam penelitian ini karena tingginya konsentrasi logam tersebut dalam limbah cair industri.

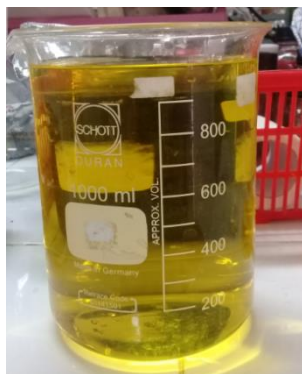
Limbah buatan Cr yang menyerupai konsentrasi asli limbah *elektroplating* kemudian dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi limbah buatan tersebut sebesar 98,07 mg/L sesuai konsentrasi limbah asli dan memiliki pH larutan 3,00. Pengaturan pH menggunakan asam sulfat merk (H₂SO₄). Hasil analisis karakteristik limbah buatan *elektroplating* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Karakteristik limbah buatan

Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah*)	Hasil Analisa
pH	-	6-9	3,00
Kromium (Cr)	mg/L	0,1	98,07

Sumber: Hasil Laboratorium LPPM

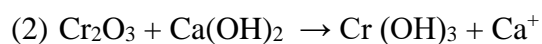
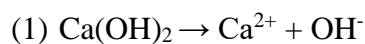
Gambar 4.1 merupakan limbah buatan *elektroplating* yang memiliki warna kuning pekat karena konsentrasi Cr yang sangat tinggi dan pH larutan sangat asam. Suhu larutannya adalah 28°C.



Gambar 4.1 Limbah cair buatan elektroplating

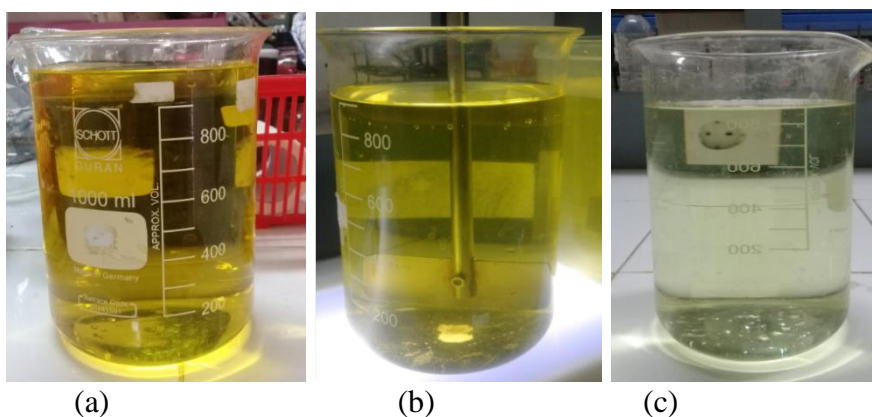
4.2 Proses Presipitasi

Proses presipitasi dilakukan untuk mengurangi kadar kromium dalam sampel limbah menggunakan *precipitating agent* yang berperan untuk mengikat kation logam dalam limbah buatan elektroplating. Penelitian ini menggunakan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) sehingga disebut sebagai presipitasi hidroksida. Penggunaan (Ca(OH)_2) sebagai presipitan karena dianggap sangat murah untuk diaplikasikan. Mekanisme reaksi yang dapat terjadi dengan menggunakan (Ca(OH)_2) sebagai agen presipitan seperti pada reaksi (1). Dalam Air presipitan yang digunakan akan terionisasi menjadi ion hidroksida (OH^-) yang bersifat elektronegatif sehingga mendekat dan berinteraksi dengan Cr^{3+} sebagai ion positif membentuk kisi kristal, kemudian tumbuh cukup besar dan ion Cr mengendap dalam limbah membentuk Cr(OH)_3 akibat gaya gravitasi (reaksi 2) seperti berikut;



Dari reaksi yang terjadi, kromium oksida yang telah terbentuk kemudian dipisahkan melalui proses sedimentasi atau filtrasi (F. Fu and Q, Wang., 2011). Secara umum proses presipitasi dapat terjadi karena sifat kelarutan ion logam yang dipengaruhi oleh derajat keasamaan (pH).

Pada proses presipitasi ini, penentuan pH optimum dilakukan secara *batch* menggunakan gelas beaker 1 liter dengan peralatan jar test untuk pengadukan dan pengendapan. Variasi pH yang digunakan yaitu 8; 8,5; 9; 9,5; dan 10 pada kecepatan pengadukan 100 rpm (Tabel 4.3).



Gambar 4.2 Sebelum presipitasi (a), Proses presipitasi (b), Hasil presipitasi (c)

Berdasarkan Gambar 4.2 diketahui bahwa larutan kromium yang diolah dengan presipitasi sebelum dan sesudah perlakuan mengalami perubahan fisik. Setelah proses pengadukan dengan alat *jar test* dan didiamkan beberapa saat terdapat endapan putih di dasar wadah/beaker. Hal ini menunjukkan bahwa telah berlangsung proses pengendapan kromium

hidroksida. Pengendapan dilakukan selama 30-45 menit sehingga terbentuk dua lapisan yaitu endapan dan filtrat. Pemisahan dilakukan dengan penyaringan. Larutan hasil presipitasi terlihat lebih muda dan encer dibandingkan sebelum presipitasi (Gambar 4.2).

4.2.1 Pengaruh pH Terhadap Efisiensi Penyisihan Kadar Cr

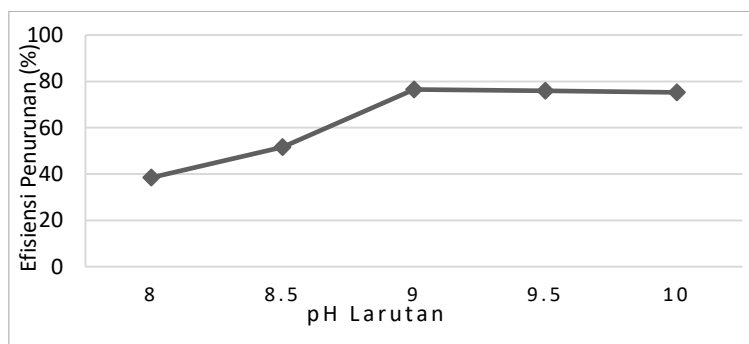
Harga pH (derajat keasaman) pada proses presipitasi digunakan untuk menggambarkan sifat keasaman limbah cair dengan adanya konsentrasi H^+ dalam limbah. Nilai pH berpengaruh terhadap kelarutan sifat logam karena masing-masing jenis logam berat mempunyai kelarutan terendah yang spesifik pada pH tertentu (Benefield, 1982). Dalam penelitian ini hasil analisis menunjukkan adanya pengaruh pH terhadap efisiensi penyisihan kadar Cr dalam limbah (Tabel 4.3).

Tabel 4.3. Pengaruh pH terhadap meningkatnya efisiensi penurunan Cr pada kecepatan pengadukan 100 rpm

pH awal	Konsentrasi awal (mg/L)	pH Akhir	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Efisiensi Penurunan (%)
3,00	98,30	8	60,50	38,4537
3,00	98,30	8,5	47,60	51,5768
3,00	98,30	9	23,10	76,5005
3,00	98,30	9,5	23,60	75,9918
3,00	98,30	10	24,31	75,2695

Sumber : Hasil Perhitungan

Data dari Tabel 4.3 dapat digambarkan dalam grafik pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3. Grafik Pengaruh pH terhadap meningkatnya efisiensi penurunan Cr pada kecepatan pengadukan 100 rpm

Dari Tabel 4.3 dan grafik yang ditunjukkan bahwa dalam presipitasi, penambahan $Ca(OH)_2$ sebagai agen presipitasi menyebabkan kromium yang semula larut dalam limbah cair menjadi tidak larut setelah dilakukan pengadukan dan pengendapan. Pada pH 9 memberikan efisiensi penyisihan terbesar yaitu 76,50 % pada kecepatan 100 rpm dari konsentrasi awal 98,07 mg/l. hal ini di dukung teori Benefield (1982) bahwa, logam Cr dapat mengendap baik

pada kisaran pH antara 8 sampai 9,5 karena kelarutan Cr yang sangat kecil atau mendekati 0 (nol). Pengendapan yang terjadi dapat dijelaskan berdasarkan sifat kelarutan endapan $\text{Cr}(\text{OH})_3$, dimana nilai K_{sp} zat $\text{Cr}(\text{OH})_3$ pada temperatur kamar umumnya adalah sebesar $2,9 \times 10^{-29}$ (Vogel, 1986), sehingga pengendapan yang terjadi pada pH 9 tersebut dapat diketahui konsentrasi ion Cr^{3+} adalah $2,9 \times 10^{-14} \text{ mol L}^{-1}$. Nilai yang diperoleh tersebut diperoleh menggunakan persamaan K_{sp} sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K_{sp} \text{Cr}(\text{OH})_3 &= [\text{Cr}^{3+}] [\text{OH}^-]^3 \\ 2,9 \times 10^{-29} &= [\text{Cr}^{3+}] [10^{-5}]^3 \\ [\text{Cr}^{3+}] &= 2,9 \times 10^{-14} \text{ mol L}^{-1} \end{aligned} \quad (18)$$

Konsentrasi Cr yang diketahui pada pH 9 tersebut telah melampaui atau lebih besar kelarutan ($\text{Cr}(\text{OH})_3$). Hal ini berarti konsentrasi ion Cr dan hidroksil telah melebihi yang diperbolehkan oleh hasil kali kelarutan. Ketika ion hidroksil (OH^-) telah berlebih maka akan mengikat ion Cr dalam limbah, dengan demikian terjadi pembentukan kromium hidroksida dan menyebabkan penurunan konsentrasi Cr.

Selanjutnya pada pH 9,5 dan pH 10 kelarutan ion Cr cenderung meningkat yang ditandai dengan penurunan efisiensi penyisihan. Hal ini terjadi karena ion hidroksil (OH^-) dalam larutan menjadi lebih dominan, sehingga kromium melarut kembali. Ketika ion OH^- menjadi lebih banyak maka berpotensi membentuk flok $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ yang bersifat elektronegatif yang selanjutnya akan menarik Cr^{3+} yang masih terdapat dalam larutan dan membentuk flok mantel muatan positif. Hal ini berkaitan dengan sifat amfoter dari padatan logam hidroksida yang dapat bereaksi pada pH basa dan mengakibatkan logam tersebut larut kembali dalam air (Avvesa et al., 2016).

Dengan melihat hasil yang diperoleh (Tabel 4.3 dan Gambar 4.3) untuk proses presipitasi pada pH 8; 8,5; 9; 9,5; dan 10 menunjukkan bahwa penambahan senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai agen presipitasi yang berperan menaikkan pH, berpengaruh terhadap penyisihan Cr^{3+} dalam rentang waktu pengendapan yang sama. Namun dalam penelitian ini persentase nilai yang dihasilkan pada tiap pH yang divariasikan tidak jauh berbeda. Konsentrasi akhir hasil proses presipitasi pada masing-masing pH yang diperoleh belum mencapai 100%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan proses presipitasi ion Cr tidak dilakukan proses reduksi terlebih dahulu untuk menurunkan valensi ion Cr, sehingga kandungan ion Cr^{6+} dalam larutan masih cukup tinggi. Akibatnya dalam presipitasi tersebut ion Cr^{6+} akan cenderung membentuk gugus kompleks senyawa logam dan menyulitkan untuk terjadi pengendapan.

4.3 Penelitian Pendahuluan Proses Adsorpsi

Penelitian pendahuluan pada proses adsorpsi bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum yang akan dijadikan acuan untuk pelaksanaan proses adsorpsi. Penelitian pendahuluan terdiri dari penentuan pH, waktu dan kecepatan pengadukan yang optimum pada proses adsorpsi.

4.3.1 Penentuan pH pada Adsorpsi

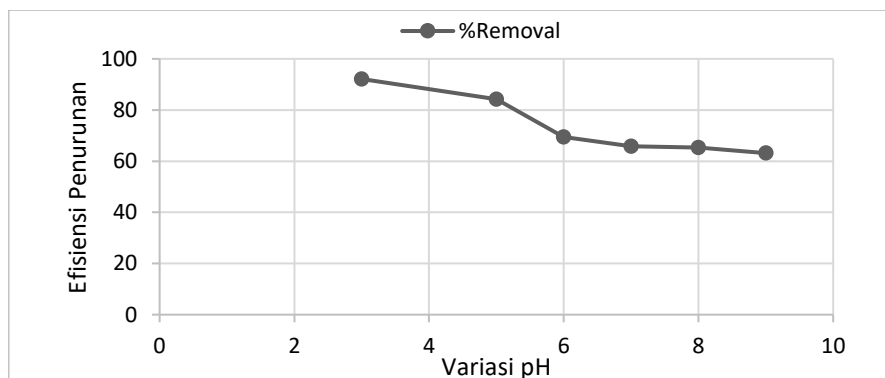
Penentuan pH optimum diperlukan pada proses adsorpsi karena limbah yang diolah merupakan efluen proses presipitasi sehingga pH larutan tinggi (basa). Pada pH basa ion Cr dalam limbah cenderung membentuk kompleks hidrosida ($\text{Cr}(\text{OH})_2$) sehingga akan menyulitkan untuk dilakukan proses adsorpsi. Hal terjadi karena proses adsorpsi sangat efektif dilakukan pada pH rendah (asam), dimana tingkat adsorpsi akan meningkat seiring menurunnya pH larutan. Sebab pada pH rendah terjadi peningkatan ion hidrogen dalam larutan yang akan membantu mengaktifkan situs-situs dan menetralisasi muatan negatif pada adsorben sehingga akan meningkatkan kemampuan adsorpsi. Penentuan pH dalam penelitian dilakukan dengan variasi antara 3,5,6,7,8,9 dalam 250 ml limbah dengan massa adsorben 2 gram. Pemilihan range pH dimaksudkan untuk mengetahui pH optimum terhadap efisiensi penurunan Cr. Hasil yang didapatkan ditunjukkan oleh Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengaruh variasi pH terhadap efisiensi penurunan Cr

pH	Konsentrasi Cr(mg/l)		% Removal
	Co	Ce	
3	23,10	1,82	92,12
5	23,10	3,64	84,24
6	23,10	7,05	69,48
7	23,10	7,88	65,88
8	23,10	8,02	65,28
9	23,10	8,71	63,15

Sumber : Hasil Perhitungan

Data tersebut digambarkan dalam grafik pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Efisiensi penurunan Cr pada variasi pH

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada pH 3 terjadi penurunan logam Cr paling tinggi yaitu sebesar 92,12% dari konsentrasi awal 23,10 mg/l. pH dengan efisiensi penurunan terbesar ini akan digunakan untuk proses *batch* dan proses kontinyu.

Dalam penerapannya di lapangan untuk pengolahan air limbah maupun badan air tercemar yang dilakukan dengan proses adsorpsi, biasanya menggunakan pH limbah atau badan air (pH badan air berkisar 6 hingga 8) sesuai kondisi, tetapi bila pH ini tidak dapat dicapai hasil adsorpsi yang baik, maka dapat dilakukan penentuan pH yang sesuai untuk proses adsorpsi. Namun dipastikan pH tersebut tidak merubah sifat adsorben dan atau adsorbat yang terlibat dalam proses adsorpsi.

4.3.2 Penentuan Waktu Kesetimbangan

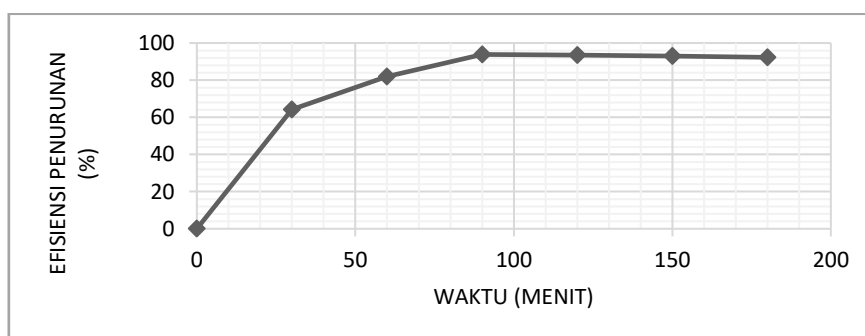
Penentuan lama pengadukan diperlukan untuk mengetahui waktu kesetimbangan adsorben tempurung kelapa dalam mengadsorpsi ion Cr. Lama pengadukan berpengaruh terhadap waktu kontak adsorben dan adsorbat sampai batas kemampuan maksimumnya selama proses *batch*. Waktu kesetimbangan ini akan diterapkan untuk keseluruhan proses *batch*.

Tabel 4.5 Hasil penentuan waktu pengadukan

Waktu (Menit)	Konsentrasi Cr(mg)/l		% Removal
	Co	Ce	
0	23,10	23,10	-
30	23,10	8,27	64,29
60	23,10	4,18	81,90
90	23,10	1,42	93,85
120	23,10	1,48	93,59
150	23,10	1,62	92,98
180	23,10	1,78	92,29

Sumber: Hasil Perhitungan

Data dari Tabel 4.5 digambarkan dalam grafik pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil penentuan waktu kesetimbangan

Tabel 4.5 dan Gambar 4.5 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan meningkat dan cenderung konstan pada waktu pengadukan 90. Setelah 90 menit efisiensi penurunan tidak mengalami perubahan sehingga dapat diketahui bahwa tidak lagi terjadi perubahan konsentrasi adsorbat pada *solute* sehingga proses pengadukan harus segera dihentikan karena apabila waktu pengadukan bertambah dapat menyebabkan lepasnya ion Cr yang telah teradsorpsi pada permukaan. Hal ini terjadi karena ikatan yang terbentuk pada permukaan adsorben umumnya secara fisik dan kimia dapat terlepas. Ikatan mudah lepas adalah ikatan fisik dimana ikatan antara adsorben dan adsorbat merupakan ikatan *van der Waals*. Oleh karena itu ditetapkan waktu pengadukan 90 menit sebagai waktu kesetimbangan dan digunakan dalam proses *batch*.

4.3.3 Penentuan Kecepatan Pengadukan

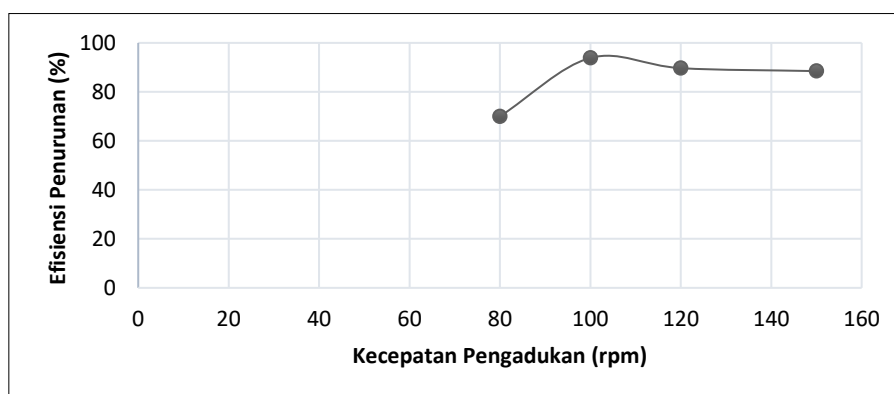
Penentuan kecepatan pengadukan dilakukan untuk mendapatkan pengadukan atau agitasi yang sesuai dalam mengadsorpsi adsorbat dengan maksimum pada waktu kesetimbangan yang telah didapatkan sebelumnya. Penentuan kecepatan dilakukan dengan menggunakan tempurung kelapa ukuran 8 mesh (0,36 mm), konsentrasi Cr sebesar 23,10 mg/L, pH larutan sebesar 3 dengan variasi 80, 100, 120 dan 150 putaran per menit dengan lama pengadukan 90 menit yang telah ditentukan pada percobaan sebelumnya. Hasil penentuan kecepatan pengadukan dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.6.

Tabel 4.6 Hasil penentuan kecepatan pengadukan

Kecepatan Pengadukan (rpm)	80	100	120	150
Penyisihan (%)	70,00	93,85	89,69	88,48

Sumber: Hasil Perhitungan

Data dari Tabel 4.6 digambarkan dalam grafik sebagai berikut;



Gambar 4. 6 Hasil penentuan kecepatan pengadukan

Pada penentuan kecepatan pengadukan, diperoleh kecepatan pengadukan yang optimum pada proses batch adalah pengadukan 100 rpm dengan penyisihkan konsentrasi kromium sebesar 93,85% dalam limbah, sehingga apabila kecepatan pengadukan kurang atau lebih dari 100 rpm proses adsorpsi tidak dapat terjadi secara maksimal. Kecepatan pengadukan yang terlalu rendah menyebabkan distribusi adsorbat dan adsorben tidak merata sehingga tidak semua adsorbat kontak dengan adsorben, sebaliknya kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi menyebabkan adsorbat yang telah diadsorpsi oleh adsorben akan terlepas kembali atau menyebabkan adsorben pecah (Indrawanti, 2006).

4.4 Proses Adsorpsi

Penelitian proses *batch* pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua larutan yang berbeda yaitu efluen proses presipitasi yang akan dilanjutkan dengan proses adsorpsi dan limbah buatan elektroplating tanpa proses presipitasi. Tujuan dilakukan perbandingan perlakuan adalah untuk mengetahui kemampuan kedua metode yang digunakan dengan mengetahui persentase efisiensinya.

Hasil analisis efluen proses presipitasi diketahui sebesar 23,10 mg/l dari konsentrasi awal 98,07 mg/l. Sebelum proses adsorpsi dilakukan, efluen presipitasi (23,10 mg/l sebagai konsentrasi 1) tersebut terlebih dahulu diencerkan dengan perbandingan 1:3 dan 1:1 menggunakan aquades. Hasil analisis pengenceran sampel limbah menggunakan metode AAS, diketahui bahwa pengenceran dengan perbandingan 3: 1 adalah sebesar 16,52 mg/l (konsentrasi 2), sedangkan perbandingan 1:1 adalah sebesar 11,52 mg/l (Konsentrasi 3).

Pada penelitian proses *batch*, variasi yang digunakan adalah ukuran butiran adsorben tempurung kelapa sebesar 8 mesh (2,36 mm), 10 mesh (2,00 mm) dan 12 mesh (1,70 mm), konsentrasi kromium sebesar 23.10 mg/l, 16,52 mg/l dan 11.52 mg/l. Variasi massa adsorben yang dilakukan yaitu 0,5; 1,0; 2,0, 4,0, 6,0 dan 8,0 gram.

4.4.1 Pelaksanaan Proses Adsorpsi (Tanpa Presipitasi)

Pada percobaan ini digunakan larutan kromium tanpa proses presipitasi, sehingga konsentrasi awal larutan adalah 98.07 mg/l (100%) yang kemudian diencerkan dengan aquades menjadi (75%) dan (50%) kemudian dianalisis menggunakan AAS sehingga diketahui konsentrasi (75%) adalah sebesar 74,25 mg/l dan konsentrasi (50%) adalah sebesar 48,06 mg/l. Tujuan dilakukan pengenceran air limbah untuk proses adsorpsi adalah untuk mengetahui kemampuan adsorben tempurung kelapa dalam menyisihkan ion Cr berdasarkan perubahan konsentrasi. Pengolahan dilakukan secara *batch* menggunakan 100 ml larutan dalam gelas beaker 1 liter dan proses *batch* ini dilakukan berdasarkan kondisi optimum yang diperoleh pada

percobaan pendahuluan. Pada perlakuan ini, setiap konsentrasi divariasikan dengan ukuran diameter adsorben yang berbeda dan telah diaktivasi dengan massa yang sama yaitu 6 gram. Hasil yang diperoleh ditunjukkan dalam Tabel 4.7.

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa persentase efisiensi penyisihan logam kromium pada proses adsorpsi, dipengaruhi oleh ukuran diameter adsorben dan konsentrasi larutan, dimana ukuran adsorben dengan diameter terkecil memiliki persentase efisiensi lebih tinggi dan baik dibandingkan ukuran yang lebih besar.

Tabel 4.7 Hasil pengolahan logam kromium dengan adsorpsi tanpa proses presipitasi

Ukuran Adsorben (Mesh)	Konsentrasi Larutan (%)	Hasil Analisis (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
8 (Diameter I)	100	36,23	63.05
	75	33,08	66.26
	50	28,28	71.20
10 (Diameter II)	100	30,21	69.19
	75	28,43	71.01
	50	20,56	79.03
12 (Diameter III)	100	27,98	71.46
	75	25,18	74.32
	50	21,57	78.00

Sumber: Hasil perhitungan

Hal ini dapat dijelaskan bahwa luas permukaan adsorben berpengaruh terhadap penyisihan, karena proses adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben, sehingga besarnya penyerapan ion logam tersebut akan proporsional terhadap luas permukaan yang ada. Selain itu dari Tabel 4.7 tersebut, nampak pula bahwa untuk setiap konsentrasi larutan yang digunakan terjadi peningkatan efisiensi penyisihan jika konsentrasi larutan semakin rendah, karena pada konsentrasi yang rendah kecenderungan tarik menarik antara ion logam dan permukaan adsorben akan lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi yang tinggi. Penurunan efisiensi penyisihan akibat perubahan ukuran media dan konsentrasi larutan ini tidak terlalu besar (63.05 – 78.00%), sehingga untuk meningkatkan efisiensi penyisihan perubahan ukuran media bukan cara yang efektif.

4.4.2 Pengaruh Konsentrasi Limbah dan Massa Adsorben Terhadap Efisiensi Penurunan Cr pada berbagai ukuran Adsorben

Gambar-gambar dan tabel-tabel berikut menunjukkan pengaruh konsentrasi larutan kromium terhadap variasi massa adsorben dan ukuran adsorben tempurung kelapa yang

dilakukan, dimana semakin banyak ion kromium yang terdapat dalam limbah akan menyebabkan adanya kecenderungan berkurangnya efisiensi removal logam kromium.

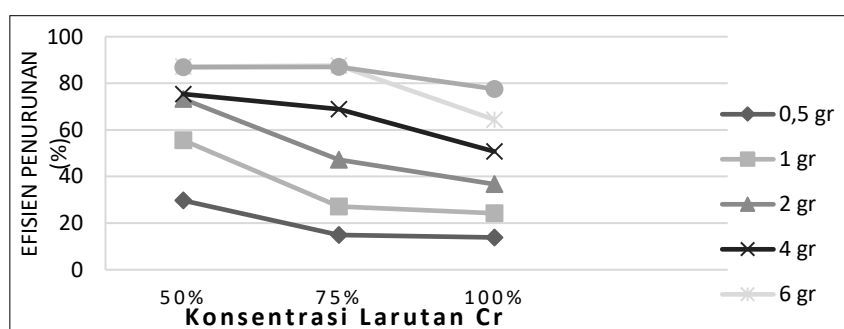
Tabel 4.8 dan Gambar 4.7. menunjukkan bahwa dengan massa adsorben yang sama pada konsentrasi yang berbeda terjadi perbedaan efisiensi penurunan ion Cr, dimana persentase efisiensi meningkat pada konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan konsentrasi yang lebih tinggi.

Tabel 4.8. Pengaruh konsentrasi larutan terhadap efisiensi penyisihan cr pada berbagai massa adsorben dengan ukuran adsorben 8 mesh (2,36 mm)

Konsentrasi Kromium	Efisiensi Removal (%)					
	0,5 (g)	1 (g)	2 (g)	4 (g)	6 (g)	8 (g)
50%	29,71	55,57	73,27	75,40	87,15	86,90
75 %	14,94	27,11	47,27	68,88	87,59	87,04
100 %	13,85	24,24	36,71	50,74	64,42	77,57

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel data 4.8. dapat digambarkan dalam grafik Gambar 4.7



Gambar 4.7. Efisiensi Penurunan Cr pada berbagai konsentrasi Cr dan Massa Adsorben dengan ukuran 8 Mesh

Pada konsentrasi terendah dengan massa adsorben 8 gram, dihasilkan efisiensi penyisihan sebesar 87,88 % sedangkan konsentrasi tertinggi efisiensi penyisihan sebesar 77,57%.

Tabel 4.9. Pengaruh Konsentrasi Larutan terhadap Efisiensi Penyisihan Cr pada berbagai Massa Adsorben dengan Ukuran Adsorben 10 Mesh (2,00 mm)

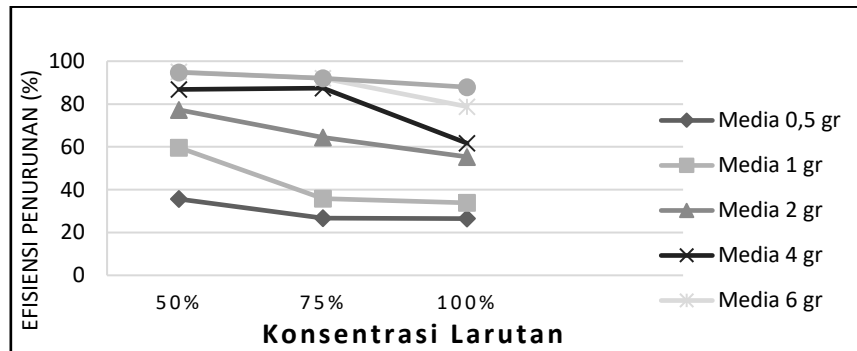
Konsentrasi Kromium	Efisiensi Removal (%)					
	0,5 (g)	1 (g)	2 (g)	4 (g)	6 (g)	8 (g)
50%	35,61	59,65	77,26	86,81	94,96	94,79
75 %	26,69	35,77	64,34	87,41	92,01	92,00
100 %	26,49	33,85	55,32	61,69	78,79	87,88

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.9 dan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi larutan, efisiensi penurunan Cr semakin kecil. Hal ini terjadi karena konsentrasi yang tinggi

memberikan beban ion yang semakin besar terhadap media adsorben sementara luas permukaan spesifik media adalah tetap yang mengakibatkan media cepat mengalami jenuh (keadaan saturasi) (Harmin, 2007).

Tabel data 4.9. dapat digambarkan dalam grafik Gambar 4.8



Gambar 4.8. Efisiensi penurunan Cr pada berbagai konsentrasi Cr dan massa adsorben dengan ukuran 10 Mesh

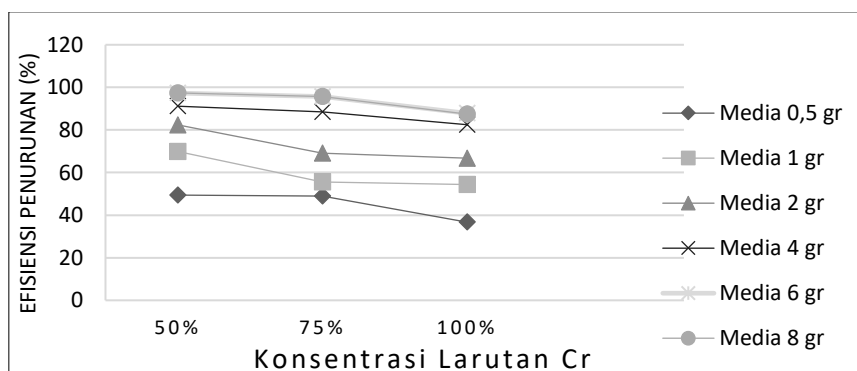
Pada konsentrasi tertinggi (100%) dengan massa adsorben 8 gram, dihasilkan efisiensi penyisihan sebesar 87,88% sedangkan konsentrasi terendah menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 94,79%.

Tabel 4.10. Pengaruh Konsentrasi Larutan terhadap Efisiensi Penyisihan Cr pada berbagai Massa Adsorben dengan Ukuran Adsorben 10 Mesh (2,00 mm)

Konsentrasi Kromium	Efisiensi Removal (%)					
	0,5 (g)	1 (g)	2 (g)	4 (g)	6 (g)	8 (g)
50%	49,41	69,89	82,38	91,15	97,31	97,39
75 %	49,00	55,56	69,12	88,49	95,73	95,73
100 %	36,71	54,37	66,75	82,47	87,84	87,44

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel data 4.10 dapat digambarkan dalam grafik Gambar 4.9



Gambar 4.9. Efisiensi Penurunan Cr pada berbagai konsentrasi Cr dan Massa Adsorben dengan ukuran 12 Mesh

Tabel 4.10 dan Gambar 4.9 menunjukkan kecenderungan meningkatnya efisiensi penurunan Cr dengan menurunnya konsentrasi Cr, dimana pada konsentrasi larutan terendah dengan massa adsorben 8 gram dihasilkan efisiensi penyisihan 97,39% sedangkan pada konsentrasi tertinggi sebesar 87,44%.

Berdasarkan Tabel 4.10 dan Gambar 4.9 pengaruh konsentrasi larutan terhadap efisiensi penurunan Cr dalam limbah yang ditunjukkan, diketahui bahwa terdapat kecenderungan konsentrasi yang lebih rendah (11,52 mg/l) memberikan penurunan lebih besar daripada konsentrasi yang tinggi dengan efisiensi removal yang lebih tinggi (23,10 mg/l) (Gambar 4.9). Hal ini disebabkan oleh kecepatan adsorpsi yang dipengaruhi oleh intrapartikel transport. Semakin kecil ukuran molekul adsorbat, semakin cepat reaksi akan berlangsung sehingga jumlah molekul yang lebih sedikit akan lebih mudah diadsorpsi oleh adsorben daripada larutan dengan kepadatan molekul adsorbat yang lebih tinggi. Kondisi ini terjadi karena adanya kecenderungan kemampuan adsorben untuk menarik molekul ion krom dalam limbah (Widarti dan Titah, 2007).

4.4.3 Pengaruh Ukuran Adsorben Terhadap Efisien Penyisihan Kadar Cr pada Variasi Massa Adsorben

Ukuran adsorben merupakan salah satu faktor yang berpengaruh dalam proses adsorpsi karena ukuran adsorben menentukan banyaknya luas permukaan. Proses adsorpsi terjadi dipermukaan partikel sehingga besarnya adsorpsi akan proporsional terhadap luas permukaan yang ada (abdelrasool, 1992). Pengaruh ukuran adsorben tempurung kelapa terhadap efisiensi penurunan berdasarkan konsentrasi larutan dapat dilihat pada Tabel dan Gambar berikut.

Tabel 4.11 Pengaruh Ukuran Adsorben terhadap Efisiensi Penyisihan Cr pada berbagai Konsentrasi Larutan dengan Massa Adsorben 0,5 mg/L

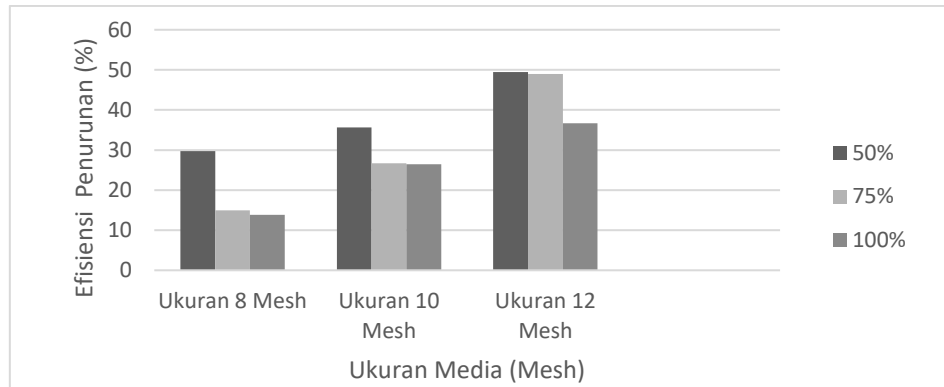
Ukuran Adsorben (Mesh)	Efisiensi Penurunan (%) Pada berbagai Konsentrasi Larutan (%)		
	50	75	100
8	29,71	14,94	13,85
10	35,61	26,69	26,49
12	49,41	49,00	36,71

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.11 dan Gambar 4.10 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan Cr terbaik terjadi pada ukuran adsorben terkecil yaitu 12 mesh (2,36 mm) dibandingkan ukuran adsorben 8 (2,00 mm) dan 10 (1,70 mm) mesh pada variasi konsentrasi yang sama. Pada konsentrasi terendah

(50%) dengan massa adsorben sebanyak 0,5 gram, efisiensi penurunan yang dihasilkan sebesar 49,41%.

Data dari Tabel 4.11 digambarkan dalam grafik pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Efisiensi penyesihan Cr pada berbagai ukuran adsorben dan konsentrasi larutan dengan massa adsorben 0,5 gram

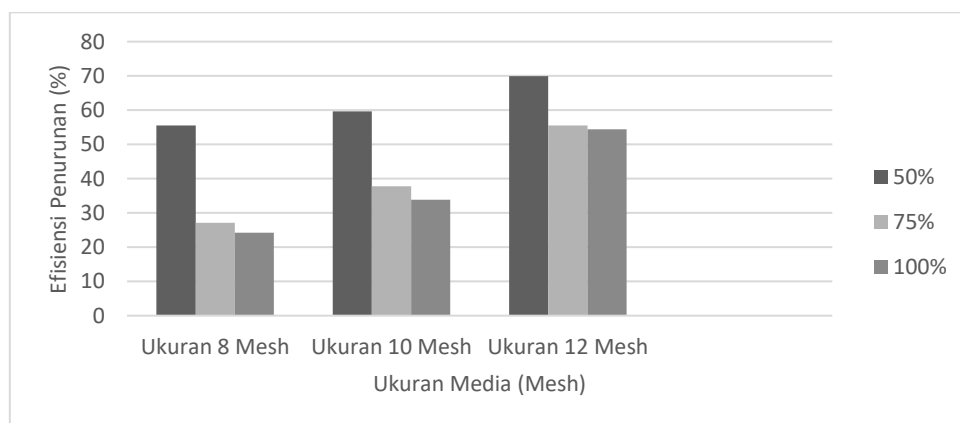
Pengaruh ukuran adsorben terhadap efisiensi penurunan Cr dengan massa 1,0 gram adsorben tempurung kelapa ditunjukkan dalam Tabel 4.12 dan Gambar 4.11, dimana efisiensi penurunan cenderung meningkat dengan semakin kecil ukuran media dibandingkan ukuran adsorben yang lebih besar.

Tabel 4.12 Pengaruh Ukuran Adsorben terhadap Efisiensi Penyesihan Cr pada berbagai Konsentrasi Larutan dengan Massa Adsorben 1,0 mg/L

Ukuran Adsorben (Mesh)	Efisiensi Penurunan (%) Pada berbagai Konsentrasi Larutan (%)		
	50	75	100
8	55,57	27,11	24,24
10	59,65	35,77	33,85
12	69,89	55,56	54,37

Sumber: Hasil Perhitungan

Data dari Tabel 4.12 digambarkan dalam grafik pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Efisiensi penyisihan Cr pada berbagai Ukuran Adsorben dan Konsentrasi Larutan dengan Massa Adsorben 1,0 gram

Tabel 4.12 dan Gambar 4.11 menunjukkan bahwa ukuran adsorben 12 mesh memberikan efisiensi penurunan Cr paling baik. Pada ukuran adsorben 12 mesh dengan massa adsorben yang sama dan konsentrasi 50% diperoleh persentase sebesar 69,89%, ukuran adsorben 10 mesh sebesar 59,65 sedangkan 8 mesh sebesar 55,57.

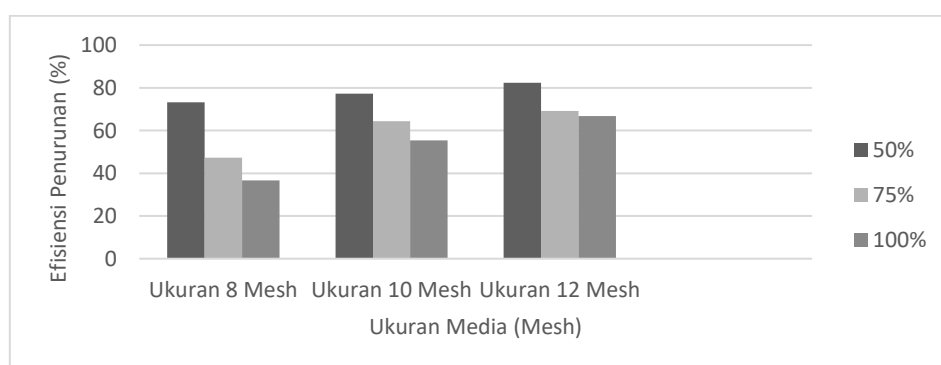
Pengaruh ukuran adsorben terhadap efisiensi penurunan Cr yang menggunakan adsorben sebanyak 2,0 gram ditunjukkan pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.12 dimana efisiensi penurunan yang dihasilkan memiliki kecenderungan yang sama yaitu terjadi pada ukuran adsorben terkecil yang memberikan efisiensi penurunan Cr terbesar dibandingkan ukuran adsorben yang lebih besar.

Tabel 4.13 Pengaruh Ukuran Adsorben terhadap Efisiensi Penyisihan Cr pada berbagai Konsentrasi Larutan dengan Massa Adsorben 2,0 mg/L

Ukuran Adsorben (Mesh)	Efisiensi Penurunan (%)		
	Pada berbagai Konsentrasi Larutan (%)		
	50	75	100
8	73,27	47,27	36,71
10	77,26	64,34	55,32
12	82,38	69,12	66,75

Sumber: Hasil Perhitungan

Data dari Tabel 4.13 digambarkan dalam grafik pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Efisiensi penyisihan Cr pada berbagai Ukuran Adsorben dan Konsentrasi Larutan dengan Massa Adsorben 2,0 gram

Tabel 4.13 dan Gambar 4.12 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan konsentrasi Cr 50% pada massa 2,0 gram yang ditambahkan menggunakan variasi ukuran adsorben tempurung kelapa terbaik terjadi pada ukuran adsorben terkecil yaitu 12 mesh sebesar 82,38% dan yang terendah sebesar 73,27%.

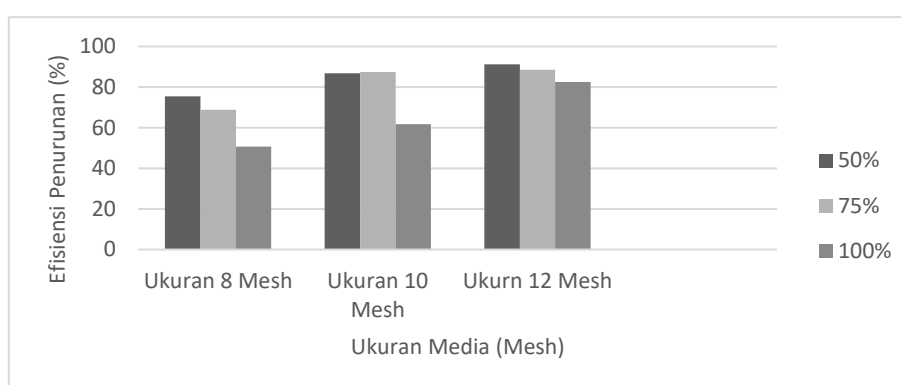
Pengaruh ukuran adsorben terhadap efisiensi penurunan Cr yang menggunakan adsorben sebanyak 4,0 gram ditunjukkan pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.13

Tabel 4.14 Pengaruh ukuran adsorben terhadap efisiensi penyisihan cr pada berbagai konsentrasi larutan dengan massa adsorben 4,0 mg/l

Ukuran Adsorben (Mesh)	Efisiensi Penurunan (%) Pada berbagai Konsentrasi Larutan (%)		
	50	75	100
8	75,40	68,88	50,74
10	86,81	87,41	61,69
12	91,15	88,49	82,47

Sumber: Hasil Perhitungan

Data dari tabel 4.14 digambarkan dalam grafik pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Efisiensi penyisihan Cr pada berbagai Ukuran Adsorben dan Konsentrasi Larutan dengan Massa Adsorben 4,0 gram

Dari Tabel 4.14 dan Gambar 4.13 dapat diketahui bahwa efisiensi penurunan Cr pada konsentrasi 50% dengan massa 4,0 gram pada ukuran adsorben 8, 10 dan 12 mesh berbeda-beda. Efisiensi penurunan terbesar adalah pada ukuran adsorben 12 mesh (1,70 mm) sebesar 91,15% dibandingkan ukuran adsorben kedua lainnya. Kemudian pengaruh ukuran adsorben terhadap efisiensi penurunan Cr yang menggunakan adsorben sebanyak 6,0 gram ditunjukkan pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.14.

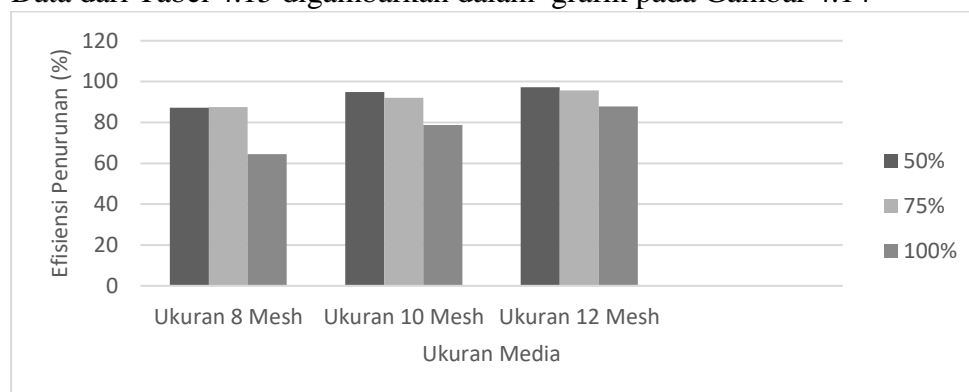
Tabel 4.15 Pengaruh ukuran adsorben terhadap efisiensi penyisihan Cr pada berbagai konsentrasi larutan dengan massa adsorben 6,0 mg/L

Ukuran Adsorben (Mesh)	Efisiensi Penurunan (%) Pada berbagai Konsentrasi Larutan (%)		
	50	75	100
8	87,15	87,59	64,42
10	94,96	92,01	78,79
12	97,31	95,73	87,84

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.15 dan Gambar 4.14 menunjukkan dengan konsentrasi yang sama (11,52 mg/l) dan massa yang sama menggunakan ketiga ukuran adsorben dalam adsorpsi, efisiensi penurunan Cr terbaik adalah pada ukuran 12 mesh yaitu sebesar 97,31% dan terendah 87,15%.

Data dari Tabel 4.15 digambarkan dalam grafik pada Gambar 4.14



Gambar 4.14 Efisiensi penysisihan Cr pada berbagai ukuran adsorben dan konsentrasi larutan dengan massa adsorben 6,0 gram.

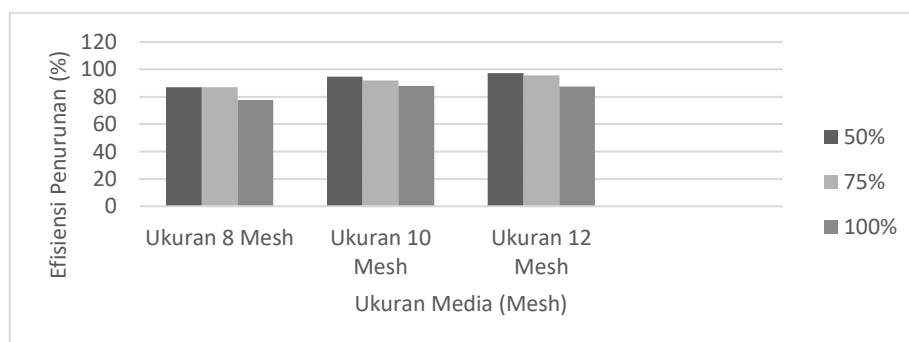
Pengaruh ukuran adsorben terhadap efisiensi penurunan Cr yang menggunakan adsorben sebanyak 8,0 gram ditunjukkan pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.15.

Tabel 4.16 Pengaruh Ukuran Adsorben terhadap Efisiensi Penyisihan Cr pada berbagai Konsentrasi Larutan dengan Massa Adsorben 8,0 mg/L

Ukuran Adsorben (Mesh)	Efisiensi Penurunan (%)		
	Pada berbagai Konsentrasi Larutan (mg/l)		
	11,52	16,52	23,10
8	86,90	87,04	77,57
10	94,79	92,00	87,88
12	97,39	95,73	87,44

Sumber: Hasil Perhitungan

Data dari Tabel 4.16 digambarkan dalam grafik pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Efisiensi penysisihan Cr pada berbagai Ukuran Adsorben dan Konsentrasi Larutan dengan Massa Adsorben 8,0 gram

Tabel 4.16 dan Gambar 4.15 menunjukkan kecenderungan peningkatan efisiensi penurunan Cr pada konsentrasi larutan yang sama pada konsentrasi 11,52 mg/l, dimana efisiensi terbesar terjadi pada ukuran adsorben terkecil 12 mesh (1,70 mm) sebesar 97,39% dan efisiensi terendah terjadi pada ukuran 8 mesh (2,36 mm) sebesar 86,90% dari konsentrasi awal Cr 11,52 mg/l.

Perbedaan ukuran adsorben yang digunakan dalam adsorpsi logam Cr yang ditunjukkan dalam Tabel-tabel dan Gambar-gambar di atas memperlihatkan perbedaan persentase penurunan ion logam krom dengan variasi konsentrasi dalam limbah, dimana adsorben dengan ukuran 1,70 mm dengan perbedaan jumlah massa yang ditambahkan memberikan removal ion krom lebih besar untuk semua konsentrasi ion krom, dibandingkan ukuran adsorben 2,00 mm dan 2,36 mm. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran adsorben, maka semakin besar kapasitas adsorpsi (Indrawanti, 2006), karena meningkatnya luas permukaan total maka akan meningkatkan pula luas permukaan untuk melakukan proses adsorpsi (Razif et al., 1999).

4.4.4 Pengaruh Massa dan Ukuran Adsorben terhadap Efisiensi Penurunan pada Berbagai Konsentrasi Larutan Cr

Efisiensi penurunan Cr untuk konsentrasi larutan tertentu dipengaruhi oleh massa dan variasi ukuran adsorben yang digunakan. Berdasarkan Gambar 4.17 dan Tabel 4.16 dapat diketahui besarnya efisiensi yang dicapai oleh tiap massa adsorben pada setiap konsentrasi dan ukuran adsorben.

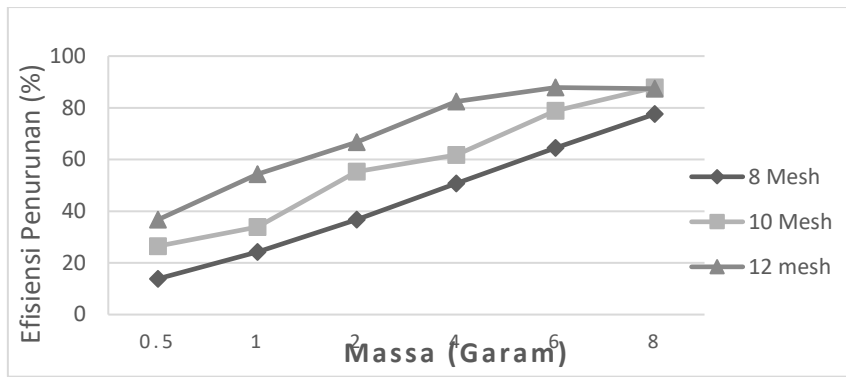
Pengaruh massa adsorben terhadap efisiensi penurunan Cr pada konsentrasi 23,10 mg/l ditunjukkan dalam Tabel 4.17 dan Gambar 4.16 berikut.

Tabel 4.17 Pengaruh Massa Adsorben terhadap Efisiensi Penyisihan Cr pada berbagai Ukuran Adsorben Larutan dengan Konsentrasi 23,10 mg/l.

Jumlah Massa (Gram)	Efisiensi Penurunan (%)		
	Pada berbagai Ukuran Adsorben (Mesh)		
	8 (2,36 mm)	10 (2,00 mm)	12 (1,70 mm)
0,5	13,85	26,49	36,71
1	24,24	33,85	54,37
2	36,71	55,32	66,75
4	50,74	61,69	82,47
6	64,42	78,79	87,88
8	77,57	87,84	87,44

Sumber: Hasil Perhitungan

Data dari Tabel 4.17 dapat digambarkan dalam grafik pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16. Efisiensi penyisihan Cr pada berbagai Massa dan Ukuran Adsorben dengan Konsentrasi Larutan 123,10 mg/L

Pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.16 untuk konsentrasi lebih tinggi (23,10 mg/l), menunjukkan bahwa efiseinsi penurunan Cr untuk setiap ukuran adsorben berbeda-beda. Secara keseluruhan efisiensi penurunan terbaik terjadi pada ukuran adsorben terkecil. Pada ukuran adsorben (12 mesh), efisiensi penurunan Cr terbesar dihasilkan pada penggunaan massa adsorben 6 gram yaitu sebesar 87,88% dan efisiensi terkecil pada penggunaan massa 0,5 gram yaitu sebesar 36,71%.

Ukuran adsorben dan jumlah massa adsorben yang ditambahkan merupakan faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses adsorpsi. Berdasarkan Tabel 4.17 dan Gambar 4.16 yang ditunjukkan, efisiensi penurunan Cr dalam limbah eletroplating memiliki kecenderungan meningkat berdasarkan ukuran adsorben dan jumlah massa adsorben yang ditambahkan, dimana semakin kecil ukuran adsorben dan semakin banyak massa adsorben maka efisiensi penurunan Cr pun akan meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi di permukaan partikel sehingga besarnya adsorpsi akan proporsional terhadap luas permukaan yang ada (abdelrasool, 1992). Kecepatan adsorpsi akan meningkat dengan ukuran partikel yang semakin kecil. Kemudian jumlah massa adsorben yang digunakan menambah pori adsorben sehingga berpengaruh terhadap efisiesi penurunan Cr.

Efisiensi penyisihan Cr pada berbagai ukuran adsorben larutan dengan konsentrasi 16,52 mg/l dan 11,52 mg/l selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran 5.

4.5 Isotherm Adsorpsi Secara Batch

Isotherm adsorpsi menggambarkan kinerja karbon pada proses adsorpsi, karena zat yang teradsorpsi pada sejumlah berat adsorben dapat diketahui. Isotherm adsorpsi dimodelkan dalam persamaan Freundlich dan Langmuir. Penentuan isotherm adsorpsi krom dilakukan secara *batch* berdasarkan ukuran butiran adsorben tempurung kelapa (8 mesh, 10 mesh dan 12

mesh) terhadap variasi konsentrasi larutan yang mengandung krom (23,10 mg/l, 16,52 mg/l dan 11,52 mg/l).

4.5.1 Model Freundlich

Isotherm model Freundlich berdasarkan asumsi bahwa pada proses adsorpsi, jumlah permukaan yang dapat menampung adsorbat adalah heterogen karena terdapat banyak situs aktif pada permukaan adsorben (Benefield, 1982) sehingga molekul teradsorp bebas di sekitar permukaan adsorben dan membentuk lapisan multilayer. Adsorbat yang terserap membentuk multi layer pada permukaan adsorben dan memiliki ikatan yang lemah karena terjadi gaya *van der Waals*.

Penentuan isotherm Freundlich dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan persamaan kesetimbangan yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar adsorbat Cr (x) yang dapat diadsorp oleh adsorben tempurung kelapa (m). Besarnya massa adsorbat Cr yang dapat diadsorp oleh adsorben dapat dinyatakan sebagai q_e (x/m) dengan satuan mg adsorbat/mg adsorben. Penentuan isotherm Freundlich memerlukan data-data dari hasil penelitian proses batch yaitu massa adsorben, volume terolah dan konsentrasi awal dan akhir.

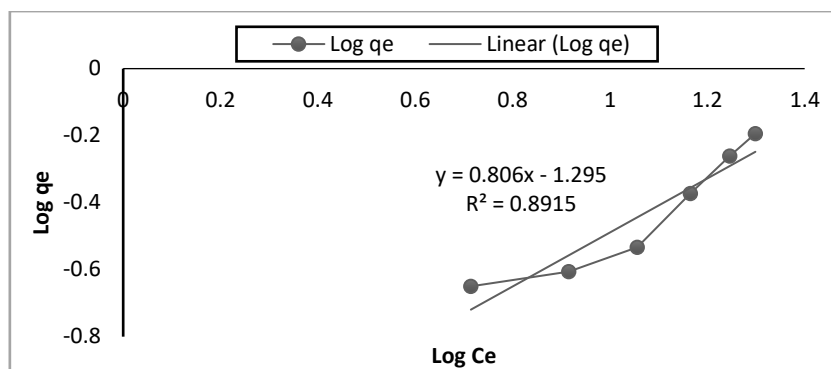
Contoh perhitungan untuk memperoleh konstanta pada persamaan Freundlich (5) ditunjukkan dalam Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Perhitungan isotherm Freundlich pada konsentrasi 23,10 mg/l kromium, Ukuran media = diameter 8 mesh

Waktu (Menit)	Massa (g)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	V(mL)	q_e (mg/g)	Log q_e	Log C_e
90	0,5	23,10	19,90	100	0,6400	-0,1938	1,2988
90	1	23,10	17,62	100	0,5480	-0,2612	1,2460
90	2	23,10	14,62	100	0,4240	-0,3726	1,1649
90	4	23,10	11,38	100	0,2930	-0,5331	1,0561
90	6	23,10	8,22	100	0,2480	-0,6055	0,9149
90	8	23,10	5,18	100	0,2240	-0,6497	0,7143

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari nilai log q_e (x/m) versus C_e yang diperoleh pada Tabel 4.18 kemudian diplotkan pada grafik sebagai berikut;



Gambar 4.17. Model freundlich adsorpsi Cr pada ukuran diameter adsorben 8 mesh dan konsentrasi kromium 23,10 mg/l.

Berdasarkan persamaan yang diperoleh dari gambar 4,17, diperoleh;

- Slope = $\frac{1}{n} = 0,806$ dan intersep = Log qe = -1,295,
- Nilai Konstanta Freundlich (K_F) = $10^{-1,2951} = 3,7242$

Dari nilai-nilai konstanta tersebut diperoleh isotherm Freundlich yaitu;

- $q_e = \frac{x}{M} = K_f C^{1/n} \rightarrow q_e = 13,7242 C^{0,806}$

Untuk variasi yang lain, data, grafik dan cara perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

4.5.2 Model Langmuir

Isotherm Model Langmuir mengasumsikan bahwa dalam adsorpsi jumlah permukaan yang dapat menampung adsorbat adalah homogen dan tetap sehingga membentuk lapisan monolayer (Tchobanoglous, 2003). Ikatan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbatnya cukup kuat karena terbentuknya suatu ikatan kimia.

Sama halnya dengan penentuan isotherm model Freundlich, Langmuir juga bertujuan untuk mendapatkan persamaan kesetimbangan yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar adsorbat Cr (x) yang dapat diadsorp oleh adsorben tempurung kelapa (m). Besarnya massa adsorbat Cr yang dapat di adsorp oleh adsorben dapat dinyatakan sebagai q_e (x/m) dengan satuan mg adsorbat/mg adsorben.

Model Langmuir dapat ditentukan dengan menghitung nilai $1/q_e$ dan $1/C_e$ sehingga akan diketahui nilai kapasitas maksimum (q_m) penyerapan kromium pada proses adsorpsi. Korelasi hasil penelitian dan model adsorpsi dapat diketahui berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien korelasi (R^2) yang diperoleh. Perhitungan tersebut ditabelkan sebagai berikut.

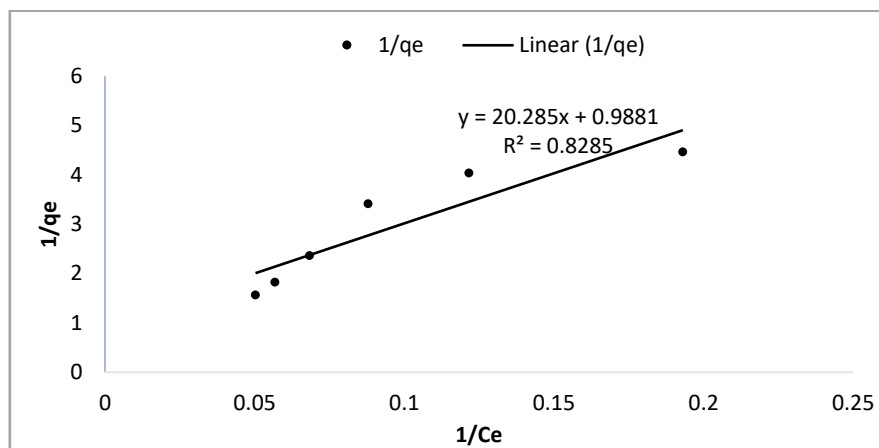
Contoh perhitungan untuk memperoleh konstanta pada persamaan Langmuir (4) ditunjukkan dalam Tabel 4.19 berikut.

Tabel 4.19 Perhitungan isotherm Langmuir pada konsentrasi 23,10 mg/l Kromium, Ukuran media = diameter 8 mesh

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/l)	1/Ce	1/qe
90	0,5	23,10	19,90	100	0,6400	0,0503	1,5625
90	1	23,10	17,62	100	0,5480	0,0568	1,8248
90	2	23,10	14,62	100	0,4240	0,0684	2,3585
90	4	23,10	11,38	100	0,2930	0,0879	3,4129
90	6	23,10	8,22	100	0,2480	0,1216	4,0323
90	8	23,10	5,18	100	0,2240	0,1931	4,4643

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan dan pemetaan grafik menggunakan excel sehingga diperoleh grafik sebagai berikut.



Gambar 4.18. model Langmuir adsorpsi Cr pada ukuran diameter adsorben 8 mesh dan konsentrasi kromium 23,10 mg/l

Berdasarkan persamaan yang diperoleh dari Gambar 4,18, diperoleh;

$$\text{Intersep} = \frac{1}{q_m} = 0,9881 \rightarrow q_m = 1,0120$$

$$\text{Slope} = \frac{1}{q_m b} = 30,285 \rightarrow b = 1,00$$

Untuk variasi yang lain, data, grafik dan cara perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

Berdasarkan data hasil perhitungan dan analisis model isotherm freundlich dan langmuir dengan meninjau variasi ukuran adsorben dan konsentrasi larutan umumnya didapatkan bahwa persamaan isotherm cenderung mengikuti model penyerapan freundlich karena memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) sedikit lebih tinggi yaitu antara 0,843 - 0,9685 dibandingkan model Langmuir yaitu antara 0,8096 - 0,9354, sehingga dapat diperkirakan proses adsorpsi yang terjadi adalah sedikit lebih didominasi oleh adsorpsi secara fisik pada

permukaan adsorben karena nilai R^2 yang diperoleh tidak berbeda jauh. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi adalah secara fisik dan kimia.

Tabel 4.20 menunjukkan kemampuan tempurung kelapa dalam menyerap ion logam krom ditinjau dari model Langmuir cukup besar antara 0,5225 - 9,2081 mg/g. Nilai kapasitas adsorpsi Cr dari adsorben tempurung kelapa dengan ukuran 1,70 mm lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran adsorben yang lebih besar yaitu 2,36 mm dan 2,00 mm secara berturut-turut sebesar 1,0120 mg/g dan 1,2511 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh luas permukaan adsorben. Kapasitas adsorpsi maksimum (q_m) yang digambarkan oleh model Langmuir pada Tabel (4.20) berbeda-beda untuk setiap variasi ukuran diameter adsorben dan konsentrasi larutan. Pada diameter 8 mesh (2,36 mm) kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada penyerapan krom konsentrasi 11,52 mg/l yaitu 7,575.

Tabel 4.20. Data Hasil Perhitungan Analisis Model Isotherm Kromium (Cr) dengan Adsorben Tempurung Kelapa

No	Diameter	Langmuir			Freundlich		
		K_L	Q_m	R^2	K_F	n	R^2
1.	8 Mesh; 23,10 mg/l	0,0487	1,0120	0,8285	0,0507	1,2407	0,8915
2.	8 Mesh; Cr 16,52 mg/l	0,3397	0,5225	0,878	0,1581	2,4143	0,9452
3.	8 Mesh Cr 11,52 mg/l	0,0124	7,5758	0,8697	0,0996	0,9941	0,8797
4.	10 Mesh; 23,10 mg/l	0,0796	1,2511	0,8096	0,0883	1,2142	0,843
5.	10 Mesh; 16,52 mg/l	0,2091	1,0344	0,9071	0,2034	1,8734	0,9153
6.	10 Mesh 11,52 mg/l	0,3170	0,9656	0,9091	0,2187	1,4615	0,9685
7.	12 Mesh; 23,10 mg/l	0,0100	9,2081	0,9183	0,0810	0,8285	0,9582
8.	12 Mesh; 16,52 mg/l	0,0398	4,4053	0,9354	0,1679	1,0637	0,9308
9.	12 Mesh 11,52 mg/l	0,7269	0,8619	0,9022	0,3269	1,5195	0,9640

Sumber: Hasil Perhitungan

Hal ini diketahui karena faktor luas permukaan adsorben, di mana diameter 8 mesh dengan luas permukaan yang kecil efektif untuk menarik ion krom pada konsentrasi rendah sebab daya tarik menarik antara ion terhadap larutannya lebih kecil dibandingkan dengan adsorben, sedangkan kapasitas adsorpsi maksimum diameter 10 mesh (2,0 mm) dan diameter 12 mesh (1,70 mm) meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi karena semakin besar interaksi kromium pada permukaan adsorben. Namun pada kondisi tertentu, adsorben

yang digunakan akan mengalami kejenuhan (saturasi) karena kemampuan adsorpsinya menurun. Hal ini terjadi karena situs aktif yang terdistribusi pada permukaan adsorben adalah terbatas (Wu, et al., 2014; Wahyudianto, 2016). Dengan demikian dapat diketahui bahwa tempurung kelapa yang digunakan sebagai adsorben pada penelitian ini efektif digunakan untuk mengadsorpsi ion kromium dalam larutan.

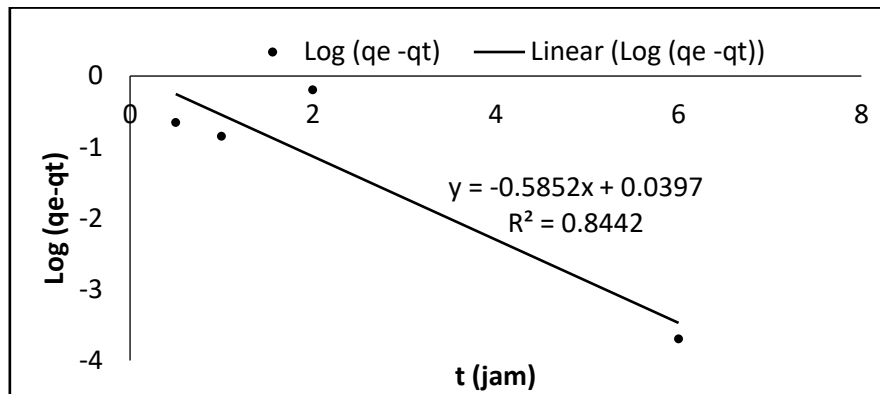
4.6 Kinetika Adsorpsi logam Kromium (Cr)

Kinetika adsorpsi merupakan fungsi waktu, dimana waktu kontak merupakan dasar untuk mengetahui kinetika adsorpsi ion logam Cr. Kinetika reaksi pada proses adsorpsi digunakan untuk mengidentifikasi bagaimana mekanisme penyerapan yang terjadi pada suatu adsorben. Kajian adsorpsi ion krom dilakukan secara *batch*. Kinetika adsorpsi dapat diketahui menggunakan *pseudo-first orde* Persamaan (6) dan *pseudo-second orde* Persamaan (7).

Kinetika adsorpsi ion Cr oleh tempurung kelapa dilakukan berdasarkan pada variasi ukuran butiran (Granule 2,36 mm, 2,00 mm dan 1,70 mm) terhadap konsentrasi larutan yang berbeda (23,10 mg/l; 16,52 mg/l dan 11,52 mg/l). Proses kinetika adsorpsi dilakukan menggunakan dosis (massa) optimum yang diperoleh pada proses isotherm adsorpsi yaitu sebanyak 6 gram untuk setiap variasi. Pengukuran dilakukan secara *batch* yaitu 6 gram adsorben dalam 100 ml larutan diaduk menggunakan *rotary shaker* kemudian diambil setiap waktu 0,5 jam; 1 jam; 2 jam; 4 jam dan 6 jam untuk analisis menggunakan AAS sehingga diketahui perubahan konsentrasi ion krom dalam limbah setiap perubahan waktu. Perlakuan yang sama dilakukan untuk variasi diameter lainnya dan konsentrasi larutan.

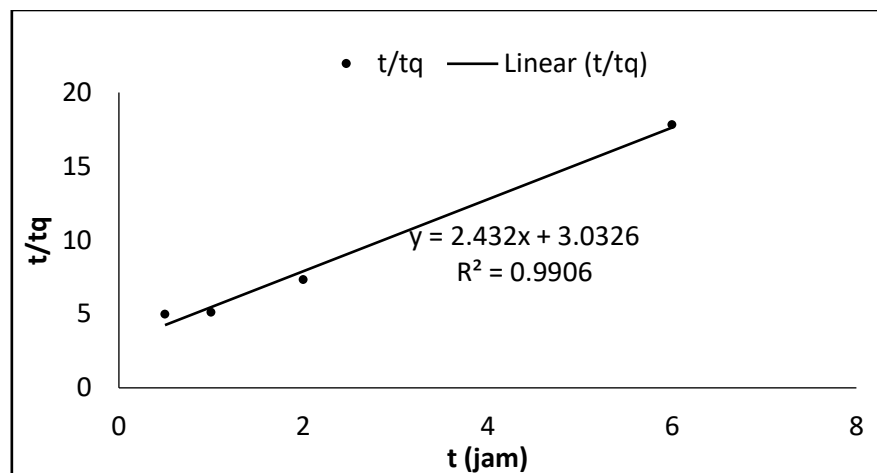
Hasil analisis kinetika reaksi Cr pada masing-masing diameter dan konsentrasi yang berbeda tersebut ditunjukkan dalam tabel lampiran 3, dimana secara nampak bahwa proses adsorpsi ion krom dalam limbah untuk setiap konsentrasi larutan dan diameter yang berbeda tersebut berjalan relatif lama karena pada jam ke 2 pertama jumlah ion krom yang terserap masih meningkat, 2 jam selanjutnya masih mengalami peningkatan hingga jam ke-6 dimana jumlah ion krom yang terserap menurun dan laju penyerapannya relatif konstan sehingga dapat dikatakan bahwa pada jam ke-6 proses adsorpsi diperkirakan telah mencapai kesetimbangan. Pada kondisi ini diperkirakan adsorben yang digunakan telah mengalami saturasi (keadaan jenuh). Laju penyisihan krom menurun seiring meningkatnya waktu yang lebih lama karena adanya situs aktif (Adebisi et. al, 2017). Selanjutnya waktu optimum atau waktu terjadinya kesetimbangan pada percobaan kinetika digunakan dalam perhitungan untuk memperoleh konstanta masing-masing model kinetika adsorpsi.

Hasil analisis mekanisme adsorpsi logam krom diploting dalam grafik pada Gambar 4.19 dan 4.20 sehingga diketahui *trend* data yang dihasilkan.



Gambar 4.19. Model Kinetika Adsorpsi Orde Satu Granule 8 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 23,10 mg/l

Hasil plotting yang disajikan pada grafik (4.19) dan (4.20) menggunakan model kinetika *pseudo-first orde* dan *pseudo-second orde* berupa persamaan garis lurus untuk masing-masing model kinetika, sehingga dapat ditentukan konstanta kinetika tiap model adsorpsi yang digunakan.



Gambar 4.20. Model Kinetika Adsorpsi Orde Dua Granule 8 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 100%

Konstanta kecepatan adsorpsi (K_1) (menit^{-1}) ditentukan dengan membandingkan persamaan linear yang diperoleh terhadap persamaan orde satu tersebut, sedangkan nilai konstanta laju pseudo orde dua (K_2) (g/mg.menit) ditentukan dengan membandingkan terhadap Persamaan (6) (Febrianto at al., 2009; wahyudianto, 2016). Dengan cara yang sama analisis dilakukan untuk variasi diameter dan konsentrasi larutan krom tersebut. Perhitungan, tabel dan grafik ditunjukkan dalam Lampiran 4. Hasil perhitungan dan analisis konstanta tiap model kinetika disajikan dalam Tabel 4.21 berikut;

Tabel 4.21 Hasil analisis model kinetika adsorpsi Kromium (Cr) dengan adsorben tempurung kelapa

Ukuran Adsorben	Konsentrasi Kromium	Pseudo-first order			Pseudo-second order		
		q _e	K ₁	R ²	q _e	K ₂	R ²
8 Mesh	23,10 mg/l	1,0957	1,3477	0,8442	0,4112	1,9504	0,9906
	16,52 mg/l	0,2109	1,0759	0,9881	0,2668	8,2713	0,9995
	11,52 mg/l	0,1253	1,0639	0,9919	0,1737	19,6502	0,9992
10 Mesh	23,10 mg/l	0,3018	1,1204	0,9978	0,4029	4,6913	0,9988
	16,52 mg/l	0,0730	0,4072	0,7169	0,2569	20,9644	0,9989
	11,52 mg/l	0,1225	1,3452	0,9906	0,1892	23,5366	1
12 Mesh	23,10 mg/l	0,1988	0,9718	0,9985	0,3828	8,5229	0,9997
	16,52 mg/l	0,1059	0,9627	0,9976	0,2767	16,8464	0,9997
	11,52 mg/l	0,0833	1,0066	0,9976	0,1892	23,5460	1

Sumber: Hasil perhitungan

Hasil perhitungan konstanta dilakukan berdasarkan persamaan linear yang didapatkan dari plotting pada Gambar grafik (4.20) dan (4.21). Adsorpsi Cr menggunakan tempurung kelapa mengacu pada kedua model kinetika baik *pseudo-first order* maupun *pseudo-second order* karena koefisien korelasi (R²) yang diperoleh untuk orde satu antara 0,7169-0,9985 dan orde dua antara 0,9906-1. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi yang terjadi tidak hanya secara fisik melainkan terdapat adsorpsi kimia (Febrianto et al.,2009 ; Wahyudianto, 2016). Variasi ukuran adsorben terhadap variasi konsentrasi larutan yang dilakukan menunjukkan bahwa ukuran partikel yang kecil dengan konsentrasi rendah secara keseluruhan mengacu pada *pseudo-second order* karena terdapat kecenderungan adsorpsi kimia.

4.7 Penelitian Proses Kontinyu

Model Adsorpsi kontinyu yang dilakukan dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mempermudah penerapan hasil penelitian dalam skala besar di lapangan dengan selalu mengontakkan air limbah pada permukaan adsorben untuk dapat mengurangi konsentrasi logam Cr dalam limbah. Adsorpsi logam Cr secara kontinyu dilakukan menggunakan ukuran adsorben 12 mesh (1.70 mm) dan konsentrasi Cr adalah sebesar 11,52 mg/l. Hal ini dikarenakan ukuran adsorben dan konsentrasi tersebut memberikan efisiensi penyisihan logam kromium terbesar pada proses *batch*

Pada proses kontinyu ini dilakukan variasi ketinggian adsorben (20cm, 30cm, dan 40 cm) dengan banyaknya massa untuk masing-masing tinggi media yang terukur, secara berturut-turut adalah 56,0 gram, 85,70 gram dan 112 gram. Variasi ketinggian media dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan adanya kecenderungan/ pengaruh variasi terhadap efisiensi removal konsentrasi logam yang digunakan terhadap perubahan waktu operasi kolom. Debit larutan Cr

yang dialirkan ke dalam kolom adalah 35 ml/menit atau 2,1 liter/jam. Pengaruh variasi ketinggian kolom terhadap penyisihan akan dibahas dalam sub pokok pembahasan sebagai berikut.

4.7.1 Pengaruh Tinggi Adsorben Terhadap Efisiensi Penyisihan Kadar Kromium

Pengaruh ketinggian adsorben terhadap efisiensi penyisihan Cr ditunjukkan pada Tabel 4.22. Dari data penelitian sistem kontinyu tersebut, diketahui bahwa tinggi adsorben berpengaruh terhadap penurunan kadar Cr dalam limbah yang ditandai dengan penurunan konsentrasi kromium pada efluen. Pada penelitian ini efisiensi penyisihan Cr tertinggi yang dapat dicapai adalah sebesar 98,13% pada tinggi adsorben 40 cm sedangkan efisiensi penyisihan untuk ketebalan media 20 cm dan 30 cm masing-masing adalah 94,01% dan 96,0% dari konsentrasi awal. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi media adsorben maka luas permukaannya juga akan semakin besar (Razif et al.,1998) sehingga akan meningkatkan kapasitas penyerapan zat adsorbat oleh adsorben. Selain itu semakin tinggi adsorben maka semakin banyak lapisan adsorben yang harus dilalui oleh larutan sebelum larutan tersebut mencapai *outlet*. Pengaruh tinggi media adsorben ditunjukkan pada Tabel 4.22.

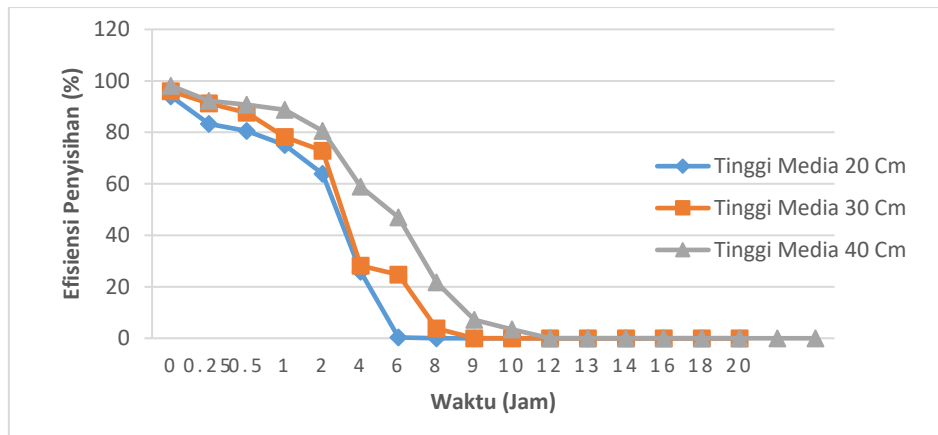
Ketinggian media adsorben dalam kolom berpengaruh pula terhadap waktu operasi. Waktu operasi adalah waktu yang diperlukan oleh adsorben untuk mencapai kejenuhan. Kondisi jenuh biasanya ditandai dengan besarnya konsentrasi efluen mencapai konsentrasi influen atau $C_e = C_o$ (Reynold, 1982).

Tabel 4.22 Pengaruh efisiensi penyisihan konsentrasi Cr terhadap ketinggian media

Media (cm)	Efisiensi Penyisihan (%)										
	Waktu (Jam)										
	0	0,5	1	2	4	8	9	13	16	18	20
20	94,01	83,33	80,55	75,08	72,30	29,30	0,34	0,0	-	-	-
30	96,00	91,23	87,67	78,21	72,83	37,76	24,7	3,82	0,0	-	-
40	98,13	92,27	90,71	88,80	80,55	58,85	46,9	21,70	7,20	3,39	0,0

Sumber: Hasil perhitungan

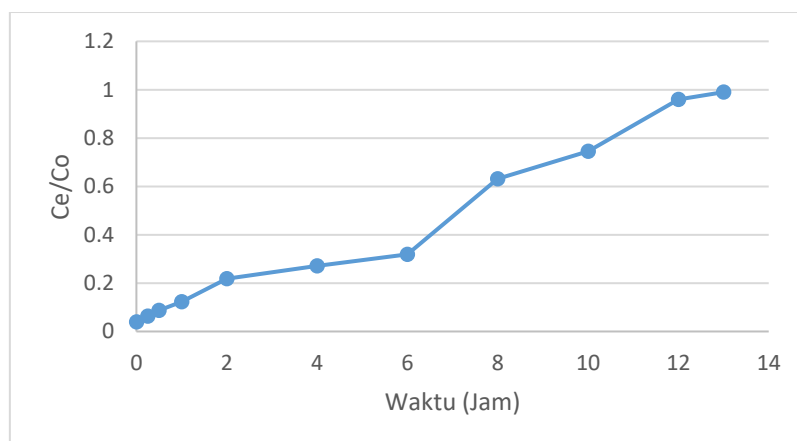
Tabel 4.22 digambarkan dalam grafik sebagai berikut



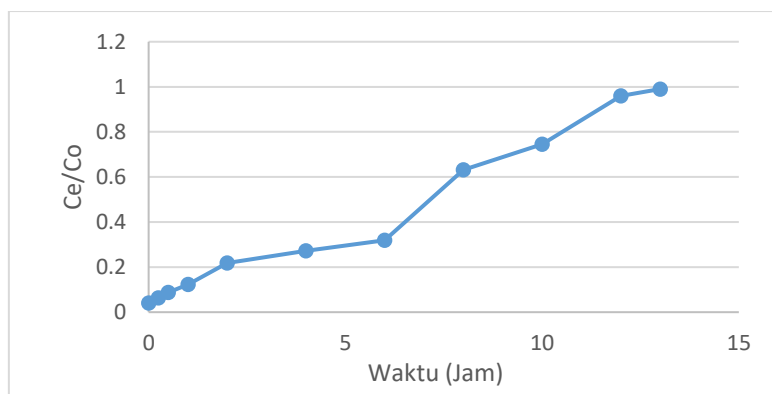
Gambar 4.21 Grafik Pengaruh Tinggi Kolom Terhadap Efisiensi Penyisihan Kadar Cr

Tabel 4.22 dan Gambar 4.21 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan kadar Cr pada setiap tinggi media berbeda-beda selama waktu operasi. Hal ini terjadi karena semakin tebal media adsorben tersebut maka luas permukaannya juga akan semakin besar (Razif et al.,1998) karena terdapat sejumlah pori yang terbentuk pada permukaan adsorben, sehingga waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat semakin lama, sehingga semakin besar kesempatan adsorben untuk mengadsorp logam Cr dalam limbah. Selain itu semakin tinggi adsorben maka semakin banyak lapisan adsorben yang harus dilalui oleh larutan sebelum larutan tersebut mencapai *outlet* sehingga waktu operasi juga akan bertambah. Waktu operasi untuk ketiga ketinggian adsorben tersebut berbeda-beda. Waktu operasi terlama terjadi pada ketinggian 40 cm yaitu 14 jam.

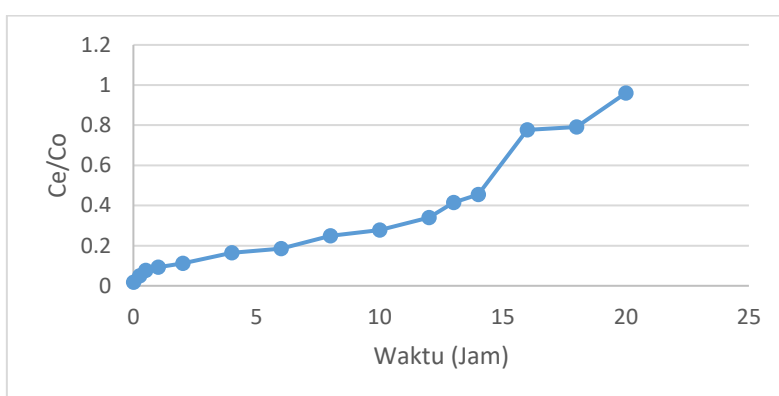
Berdasarkan efisiensi penurunan kadar logam Cr dalam limbah yang ditunjukkan (Tabel 4.22), berikut digambarkan kurva *breakthrough* dari setiap ketinggian media adsorben yang divariasikan.



Gambar. 4.22 Kurva *Breakthrough* Tinggi Media 20 cm



Gambar 4.23. Kurva *Breakthrough* Tinggi Media 30 cm



Gambar. 4.24 Kurva *Breakthrough* Tinggi Media 40 cm

Gambar 4.22-4.24 merupakan hasil analisis secara bertahap yang dilakukan untuk memperoleh keadaan dimana adsorben telah mencapai kondisi jenuh dalam mengadsorp logam Cr. Berdasarkan kurva *breakthrough* yang diperoleh dapat dilihat bahwa laju peningkatan Cr pada tiap tinggi media adsorben berbeda-beda. Kurva *Breakthrough* pada Gambar 4.22 menunjukkan bahwa untuk tinggi media adsorben 20 cm secara umum terjadi dengan cepat pada jam ke-4 kemudian lajunya menjadi berkurang. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi *breakthrough* terjadi pada waktu operasi jam ke-4 yang ditandai dengan peningkatan konsentrasi Cr secara tiba-tiba. Konsentrasi efluen pada saat *breakthrough* adalah sebesar 7,02 mg/l.

Hasil analisis untuk tinggi media 30 cm memiliki kurva *breakthrough* yang dapat dilihat pada Gambar 4.23. Laju peningkatan Cr yang terjadi pada tinggi media 30 cm tercapai pada waktu operasi 6 jam dengan konsentrasi efluen yang diperoleh adalah 8,27 mg/l, sedangkan keadaan *breakthrough* yang terjadi pada ketebalan media 40 cm tercapai pada waktu operasi 14 jam dengan konsentrasi efluen yang diperoleh adalah 9,54 mg/l.

Berdasarkan ketiga kurva yang ditunjukkan, pada tinggi adsorben 20 cm, waktu *breakthrough* yang dicapai sangat singkat bila dibandingkan tinggi media 30 cm dan 40 cm. Tingginya efisiensi penyisihan di awal operasi pada $t=0$ untuk masing-masing ketebalan berbeda, dikarenakan larutan Cr yang dialirkan ke dalam kolom lebih dahulu mengalami proses adsorpsi pada lapisan adsorben teratas dengan konsentrasi larutan Cr paling tinggi sehingga lapisan teratas tersebut lama kelamaan akan mengalami kejenuhan akibatnya proses adsorpsi berikutnya akan bergeser pada lapisan adsorben di bawahnya dan menyebabkan zona adsorpsi semakin rendah dan efisiensi penyisihan yang dapat dicapai semakin rendah (Indrawati, 2008).

4.7.2 Konstanta Kinetika dan Kapasitas Adsorpsi

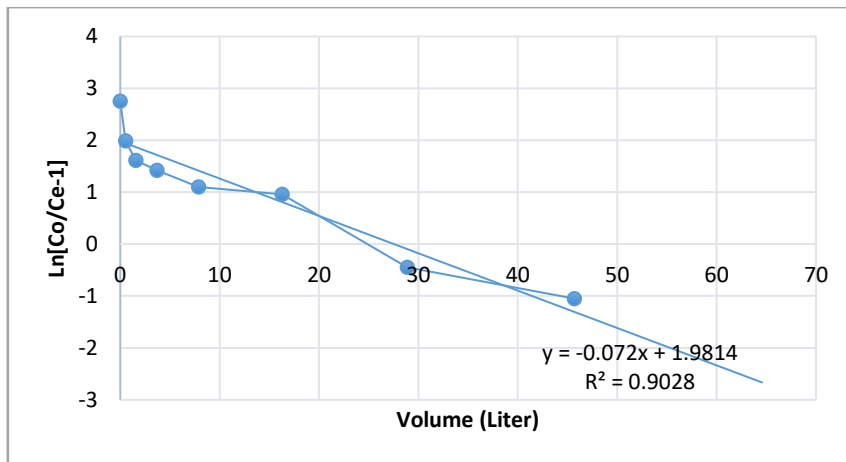
Penentuan konstanta kinetika (K_1) dilakukan untuk memperoleh suatu konstanta kinetika reaksi yang bertujuan untuk mengetahui besarnya adsorbat (x) yang dapat diserap oleh setiap satuan massa adsorben (m) dan dinyatakan dengan q_0 (mg adsorbat/mg adsorben). Untuk mengetahui konstanta kinetika (K_1) dan kapasitas adsorben (q_0) digunakan perhitungan pendekatan kinetika seperti pada Persamaan (5). Data-data yang diperlukan adalah konsentrasi influen, konsentrasi efluen, debit, massa adsorben dan volume terolah. Volume yang terolah diperoleh dari perkalian debit dengan waktu operasi. Debit yang digunakan adalah 35 ml/menit atau 2,1 liter jam. Contoh perhitungan untuk mendapatkan konstanta kinetika (K_1) dan kapasitas adsorben (q_0) disajikan dalam Tabel 4.23 sebagai berikut.

Tabel 4.23 Contoh perhitungan konstanta kinetika dan kapasitas adsorben pada konsentrasi larutan 11,52 mg/l dengan ketinggian adsorben 20 cm

Waktu (Jam)	Waktu Kum (Jam)	Konsentrasi		Vol Terolah Kumulatif (L)	Co/Ce-1	Ln [Co/Ce-1]
		Awal (mg/l)	Akhir(mg/l)			
0,0	0,0	11,518	0,69	0,00	15,69	2,75
0,25	0,25	11,518	1,38	0,53	7,35	1,99
0,5	0,75	11,518	1,92	1,58	4,99	1,61
1	1,75	11,518	2,24	3,68	4,14	1,42
2	3,75	11,518	2,87	7,88	3,01	1,10
4	7,75	11,518	3,19	16,28	2,61	0,96
6	13,75	11,518	7,02	28,88	0,64	-0,45
8	21,75	11,518	8,54	45,68	0,35	-1,05
9	30,75	11,518	11,48	64,58	0,00	-

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.23 kemudian dibuat grafik antara volume dengan $\ln \left(\frac{C_0}{C_e} - 1 \right)$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.25 berikut.



Gambar 4.25 Contoh penentuan Konstanta kinetika dan Kapasitas Adsorben

Dari hasil perhitungan maupun grafik diperoleh nilai-nilai sebagai berikut:

➤ Slope = -0,072 (untuk tinggi kolom 20 cm)

$$\text{Slope} = \frac{-K_1 \times C_o}{Q} = -0,072$$

dengan $Q = 35 \text{ ml / menit} \times 60 \text{ menit/jam} = 2100-0, \text{ ml/ jam} = 2,1 \text{ liter jam}$

$$\text{Sehingga, } K_1 = \frac{-0,072 \times Q}{C_o} = \frac{-0,072 \times 2,1 \text{ liter/jam}}{11,52 \text{ mg/l}} = 0,013 \text{ liter/jam-mg}$$

$$\text{➤ Intersep} = \frac{K_1 \times q_o \times M}{Q} = 1,9814$$

Bila $M = \text{Densitas} \times \text{Volume}$

$$= 0,5392 \text{ gr/ml} \times (1/4 \times 3,14 \times 3 \times 3 \times 20) = 76,1889 \text{ gr}$$

Maka, nilai diperoleh nilai q_o :

$$q_o = \frac{1,9814 \times 2,1 \text{ liter/jam}}{0,013 \times 76,1889} = 4,20 \text{ mg adsorbat/ mg adsorben}$$

Untuk variasi tinggi media 30 cm dan 40, cara perhitungan dan tabel data selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran 7.

4.7.3 Data Desain Kolom Adsorpsi

Data-data yang diperoleh dari proses *batch* dan kontinyu dapat digunakan sebagai masukkan data untuk keperluan desain kolom adsorpsi. Berikut merupakan contoh perhitungan menggunakan data proses batch dan kontinyu untuk keperluan desain *pilot plant* dengan beragam dimensi kolom dengan pendekatan *scale up*. Pendekatan *scale up* dalam perencanaan kolom merupakan salah satu pendekatan yang sangat aplikatif karena kemudahan perhitungannya (Razif, dkk., 1999).

Perhitungan pendekatan scale up diperlukan kurva *breakthrough* dari penelitian laboratorium dan data-data lain sebagai berikut;

- Volume bed adsorben (BV)
- Debit dalam kolom
- Densitas adsorben (Apparent density)
- Massa adsorben (M lab)
- Konsentrasi saat *Breakthrough* (Cb)
- Volume *Breakthrough* (Vb)
- Jumlah Air terolah per satuan massa adsorben (Vb')

Dalam penelitian ini perhitungan pendekatan *scale up* yang digunakan adalah kurva *breakthrough* yang dihasilkan pada proses kontinyu pada konsentrasi 11,52 mg/l dengan ketinggian adsorben 40 cm dan ukuran adsorben 12 mesh (1,70 mm) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.25 sebelumnya.

➤ Data yang dihasilkan sebagai berikut:

- Waktu Breakthrough = 14 jam = 840 menit
- Massa adsorben (M_{lab}) = 112 gram = 0,112 kg
- Densitas adsorben = 0,5392 gram/ml
- Volume bed adsorben (V bed) = $\frac{M_{lab}}{densitas} = \frac{112 \text{ gram}}{0.5392 \text{ gram/ml}} = 207,72$
- Debit dalam kolom (Q_b) = $\frac{Q_{desain}}{BV} = \frac{35 \frac{ml}{menit} \times 60 \text{ menit/jam}}{207,72} = 10,11/\text{jam}$

$$= \frac{Q_b}{BV} = \frac{10,11/\text{jam}}{207,72} \rightarrow Q_b = \frac{10,11}{207,72} BV = 0,05 \text{ BV/jam}$$
- Konsentrasi saat breakthrough (Cb) = 8,94 mg/l
- Volume breakthrough (Vb) = 840 minute x 35/ minute = 29400 ml = 29,4 L
- Jumlah air terolah per satuan adsorben (Vb') = $\frac{29,4 \text{ liter}}{0,112 \text{ kg}} = 262,5 \text{ liter/kg}$

➤ Contoh Perhitungan Pendekatan *scale up*:

Bila direncanakan;

- Diameter kolom = 30 cm = 0,3 meter
- Tinggi adsorben dalam kolom = 4 meter
- Maka, BV desain = $\frac{1}{4} \times 3.14 \times 0,3 \times 0,3 \times 4 = 0,2826 \text{ m}^3 = 282,6 \text{ L}$
- Kapasitas air yang terolah (Q) = 0,05 BV desain/jam = 0,05 x 282,6 l/jam = 14,13 liter/jam → = 14,13 liter/jam x 1 jam/60 menit x 1000 ml/1 liter = 235,5 ml/menit
→ = 235,5 ml/menit x 1 liter/1000 ml x 1 menit/60 menit = 0,0039 L/detik
- Massa adsorben desain = BV x densitas = 282,6 L x 0,5392 gram/ml x 1000 ml/l

$$= 152377,92 \text{ gram} = 152,378 \text{ kg}$$

- Jumlah massa adsorben desain tiap satuan waktu operasi (M_t)

$$M_t = \frac{Q_{desain}}{V_{b'}} = \frac{14,13 \text{ liter/jam}}{262,5 \text{ l/kg}} = 0,054 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Service cycle time (Tsc)} = \frac{M_{desain}}{M_t} = 152,378 \text{ kg} / 0,054 \text{ kg/jam} = 2822 \text{ jam}$$

$$\text{Volume breakthrough desain (Vb' desain)} = Q_{desain} \times T_{sc}$$

$$= 14,13 \text{ L/jam} \times 2822 \text{ jam}$$

$$= 25744,8 \text{ L}$$

$$= 25,74 \text{ m}^3$$

Perhitungan desain dan tabel data selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran 7.

➤ Aplikasi Desain Scale up

Data Desain

Debit Air (Qb) = 35 ml/menit = 0,05 BV/jam

Densitas Adsorben = 0,5392 gr/ml = 539,20 kg/m³

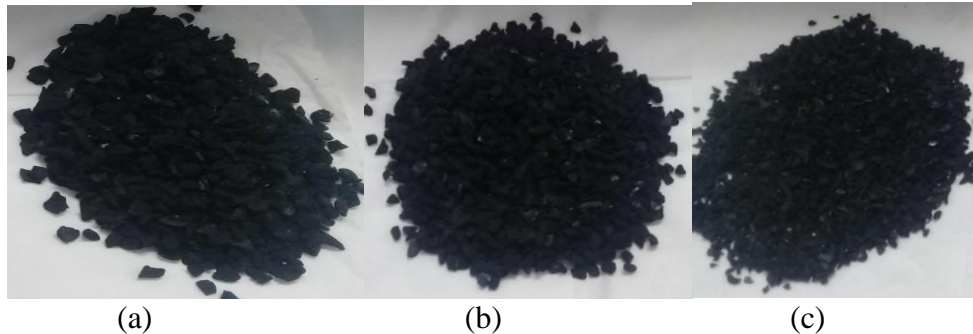
Vb' = 29,4 liter/kg

Tabel 4.24 Perhitungan Desain dengan Penetapan Dimensi Kolom

Diameter Kolom (cm)	Tinggi (m)	BV Desain (m3)	Debit (Q) (litr/min)	Berat Adsorben (kg)	Mt (kg/jam)	Tsc (jam)	Vb (m3)
10	1	0,0078	0,0001	4,233	0,0015	2822	1,111
10	2	0,0175	0,0002	8,465	0,0030	2822	2,222
10	3	0,0235	0,0003	12,698	0,0045	2822	3,333
10	4	0,0314	0,0004	16,931	0,0060	2822	4,444
15	1	0,0176	0,0002	9,524	0,0034	2822	2,499
15	2	0,0353	0,0005	19,047	0,0067	2822	4,999
15	3	0,0529	0,0007	28,571	0,0101	2822	7,499
15	4	0,0706	0,0010	38,094	0,0135	2822	9,999
20	1	0,0314	0,0004	16,931	0,0060	2822	4,444
20	2	0,0628	0,0009	33,862	0,0120	2822	8,888
20	3	0,0942	0,0013	50,793	0,0179	2822	13,333
20	4	0,1256	0,0017	67,724	0,0239	2822	17,777
25	1	0,0491	0,0007	26,455	0,0093	2822	6,9443
25	2	0,0981	0,0014	52,909	0,0187	2822	13,888
25	3	0,1472	0,0020	79,364	0,0280	2822	20,833
25	4	0,1962	0,0027	105,818	0,0374	2822	27,777
30	1	0,0706	0,0010	38,094	0,0135	2822	9,999
30	2	0,1413	0,0020	76,189	0,269	2822	19,999
30	3	0,2119	0,0029	114,283	0,0404	2822	29,999
30	4	0,2826	0,0039	152,378	0,538	2822	39,999

4.8 Pembuatan Adsorben dari Tempurung Kelapa

Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah arang aktif dari tempurung kelapa. Sebelum digunakan sebagai media adsorben arang tempurung kelapa tersebut digerus dengan cara penumbukan dan pengayakan untuk mengubah ukuran arang menjadi lebih luas (halus), sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu ukuran mesh 8 (2,36 mm), 10 (2,00 mm) dan 12 (1,70 mm). Variasi ukuran karbon aktif dilakukan karena merupakan salah satu variabel yang diukur untuk mengetahui kapasitas penyerapan untuk tiap diameter.



Gambar 4.26 Tempurung Kepala Setelah Aktivasi (a) Diameter I (2,36 mm), (b) Diameter II (2,00 mm), Diameter III (1,70 mm)

Sebelum digunakan sebagai media adsorben dilakukan aktivasi arang tempurung kelapa dengan cara perendaman dalam larutan H_2SO_4 2M selama 24 jam, dengan tujuan melarutkan tar, abu atau zat pengotor lainnya yang menutupi pori-pori arang yang telah terbentuk sehingga menambah keaktifan dan meningkatkan kemampuan adsorpsi pada logam krom yang akan diserapnya. Perendaman yang dilakukan dengan H_2SO_4 selama 24 jam tersebut menyebabkan perubahan pada tempurung kelapa menjadi lebih bersih, pori pada permukaan menjadi semakin lebih besar serta distribusi pori semakin bervariasi. Hal ini disebabkan perendaman H_2SO_4 dapat meningkatkan luas permukaan dengan menghilangkan pengotor yang terdapat pada adsorben (Wahyudianto, 2016).



Gambar 4.27 Proses Aktivasi Kimia

4.8.1 Uji Pendahuluan

Serangkaian uji pendahuluan yang dilakukan dalam penelitian meliputi uji karakteristik fisik tempurung kelapa sebagai adsorben, penentuan pH optimum untuk proses adsorpsi, waktu pengadukan, kecepatan pengadukan dan penentuan variasi massa adsorben. Hasil yang diperoleh digunakan sebagai data pendukung untuk proses *batch* dan kontinyu.

a) Uji karakteristik Adsorben

Karakterisasi adsorben dilakukan secara fisik dan kimia. Secara fisik dilakukan meliputi uji ketahanan fisik, dan uji densitas media sedangkan secara kimia analisa persentase komponen-komponen penyusun adsorben menggunakan SEM-EDX. Data yang diperoleh digunakan sebagai data pendukung penelitian dan bermanfaat untuk aplikasi selanjutnya. Data hasil uji karakteristik fisik ditunjukkan dalam Tabel 4.25 dan data komponen penyusun adsorben tempurung kelapa (Tabel 4.26).

Hasil pengukuran ketahanan fisik tempurung kelapa setelah dilakukan perendaman dengan asam klorida (HCl) selama 24 jam didapatkan 1,93%. Suatu adsorben layak digunakan sebagai media adsorpsi apabila ketahanan fisik adsorben tersebut memiliki penurunan persentase lebih kecil daripada 2% (Yuniarto, 1999). Hal ini berarti tempurung kelapa layak digunakan sebagai adsorben untuk proses adsorpsi logam kromium dalam limbah. Densitas media yang diukur meliputi densitas jenis air dan densitas kering yang bertujuan untuk mengetahui berat volume.

Tabel 4.25 Karakteristik fisik adsorben tempurung kelapa

Karakteristik	Hasil
Ketahanan Fisik	1,93%
Densitas Media	
a. True Bulk Density	
Diameter I (2,36 mm)	0,7598 gram/ml
Diameter II (2,00 mm)	0,7691 gram/ml
Diameter III (1,75 mm)	0,7694 gram/ml
b. Apparent Density	
Diameter I (2,36 mm)	0,5385 gram/ml
Diameter II (2,00 mm)	0,5389 gram/ml
Diameter III (1,75 mm)	0,5392 gram/ml

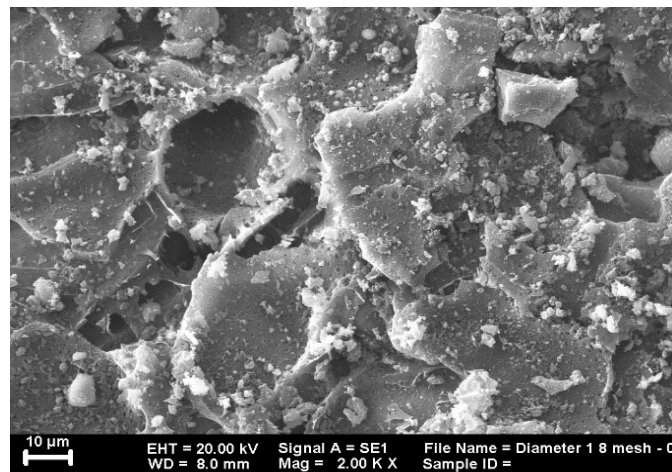
Sumber: Hasil penelitian

Berat volume dipengaruhi oleh rongga atau pori pada adsorben, dimana adsorben dengan diameter lebih besar akan lebih ringan dibandingkan yang berukuran lebih kecil sehingga media yang berdiameter besar walau telah terisi air tetap akan menunjukkan hasil

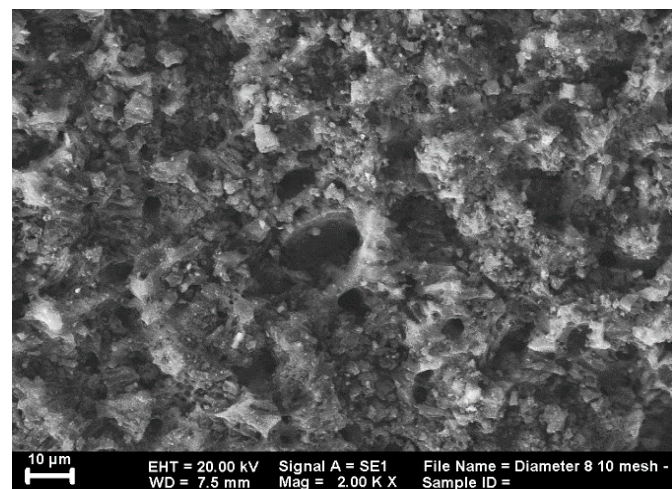
yang lebih kecil. Pengukuran densitas adsorben tempurung kelapa yang dilakukan pada ketiga ukuran butiran adsorben diketahui antara 0,5385 - 0,5392 gram/ml.

b) Karakterisasi Media Adsorben dengan SEM-EDX Sebelum dan Sesudah digunakan

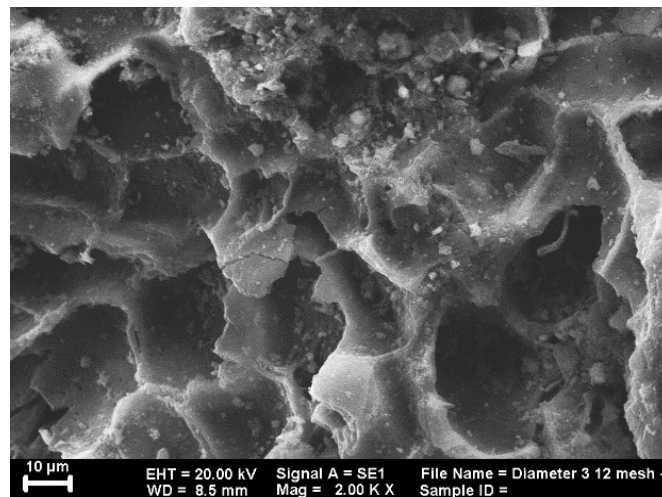
Adsorben tempurung kelapa yang telah diaktivasi sebelum digunakan sebagai media adsorben, dilakukan uji karakteristik menggunakan metode SEM-EDX untuk mengetahui bagaimana bentuk permukaan dengan melihat distribusi pori dan komponen penyusun yang terkandung dalam media adsorben tempurung kelapa tersebut. Hasil uji ketiga ukuran butiran granular ditunjukkan dalam Gambar 4.28 sebagai berikut;



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.28 Karakteristik Tempurung Kelapa Sebelum Adsorpsi pada Perbesaran 2.00k (a) Granule 2,36 mm; (b) Granule 2,00 mm; (c) Granule 1,70 mm

Hasil karakterisasi SEM pada perbesaran 2000 kali memperlihatkan bahwa rongga atau pori yang terbentuk pada permukaan adsorben untuk setiap butiran granula tampak bersih dan teratur. Hal ini terjadi karena proses aktivasi asam yang dilakukan dapat melarutkan semua zat, tar yang menyumbat pori-pori ketika proses karbonisasi. Meningkatnya ukuran pori sangat penting dalam proses adsorpsi karena mempengaruhi molekul-molekul adsorbat yang dapat terserap ke dalam partikel adsorben. Bertambahnya ukuran pori menyebabkan semakin banyak sisi-sisi aktif yang tersedia sehingga akan semakin besar kemampuan adsorpsi. Kemudian hasil analisis EDX menunjukkan komponen penyusun yang berada pada permukaan tempurung kelapa terdiri dari unsur-unsur kimia seperti karbon, oksigen, silika, kalium dan lainnya yang juga berperan dalam terjadinya proses penyerapan logam. Hasil uji komponen penyusun tempurung kelapa ditunjukkan dalam Tabel 4.26.

Media tempurung kelapa yang telah digunakan untuk proses adsorpsi juga dilakukan karakterisasi dengan tujuan mengetahui kemampuan adsorben tersebut dalam menyerap logam kromium yang terdapat dalam air limbah. Hasil dari karakterisasi SEM-EDX yang dilakukan menunjukkan bahwa tempurung kelapa yang digunakan sebagai adsorben mampu menyerap logam krom yang ditandai dengan adanya unsur Cr pada tempurung kelapa.

Tabel 4.26 menunjukkan hasil analisis EDX dari ketiga ukuran adsorben tempurung kelapa sesudah digunakan sebagai adsorben. Uji EDX memperlihatkan % massa unsur penyusun tempurung kelapa yang terdiri dari unsur karbon (C), oksigen (O), silika (Si), kalium (K), dan kromium (Cr).

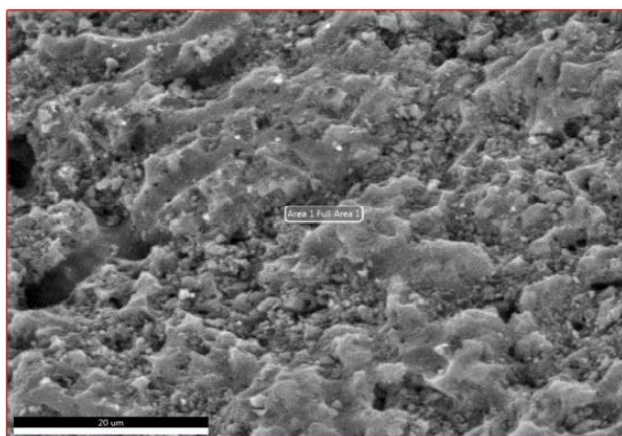
Tabel 4.26 Karakteristik adsorben tempurung kelapa

Elemen	Karakteristik Adsorben Tempurung Kelapa (%)		
	Diameter I	Diameter II	Diameter III
Karbon (C)	74,64	76,62	77,28
Oksigen (O)	21,90	17,83	18,61
Silika (Si)	1,54	1,09	1,54
Kalium (K)	0,65	2,32	0,27
Ckromium (Cr)	1,27	2,14	2,30

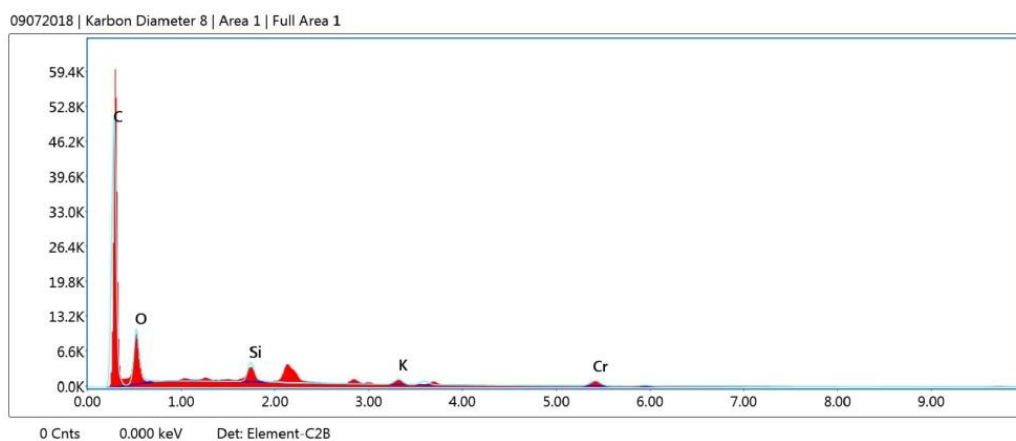
Sumber: Hasil Penelitian

Jumlah (% massa) logam Cr yang teradsorp pada permukaan adsorben berbeda sesuai ukuran granul adsorben, dimana jumlah Cr yang teradsorp pada diameter 0,71 mm (12 mesh) lebih besar dibandingkan ukuran granul 8 mesh dan 10 mesh. Hal ini dapat dijelaskan bahwa persentase logam yang teradsorp oleh adsorben dipengaruhi oleh luas permukaan adsorben.

Proses adsorpsi logam krom dapat terjadi karena ukuran molekul-molekul krom lebih kecil daripada ukuran pori adsorben sehingga lebih banyak jumlah krom yang teradsorpsi. Proses adsorpsi ini terjadi secara fisik dan kimia pada permukaan adsorben.

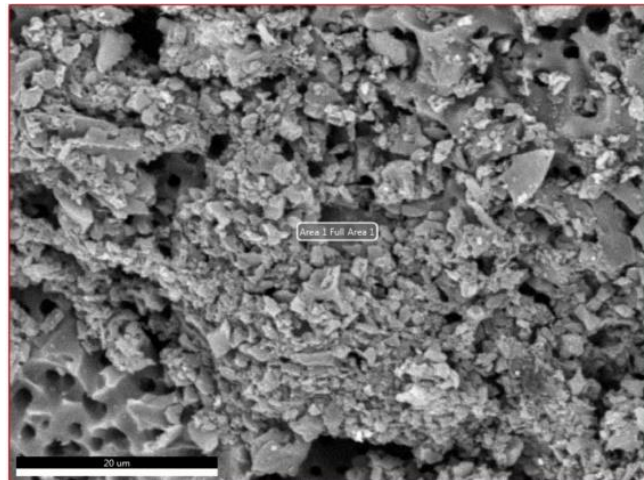


(a)

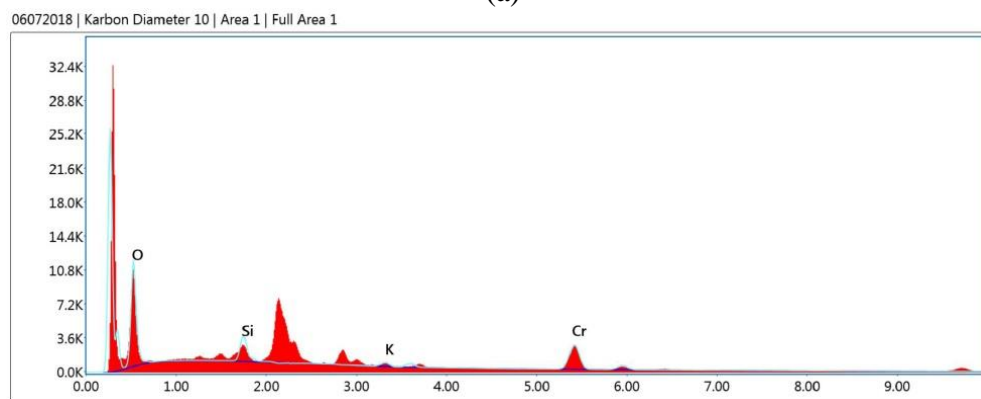


(b)

Gambar 4.29 (a) Karakteristik Tempurung Kelapa Ukuran Diameter 2,36 Mm Setelah Proses Adsorpsi Cr, (b) Karakteristik Kandungan Tempurung Kelapa Setelah Adsorpsi

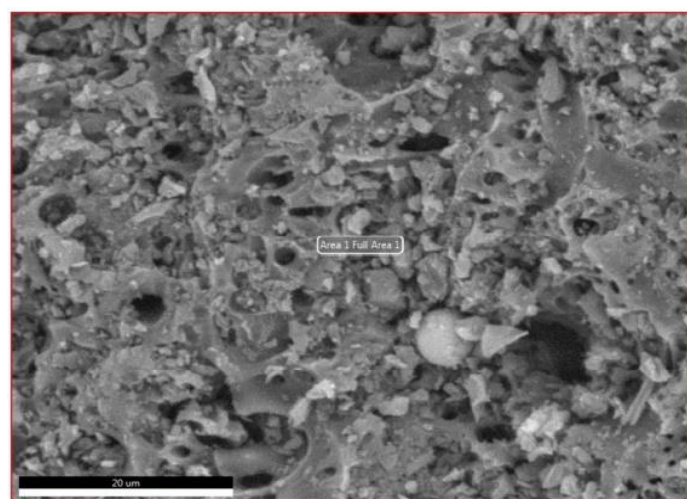


(a)

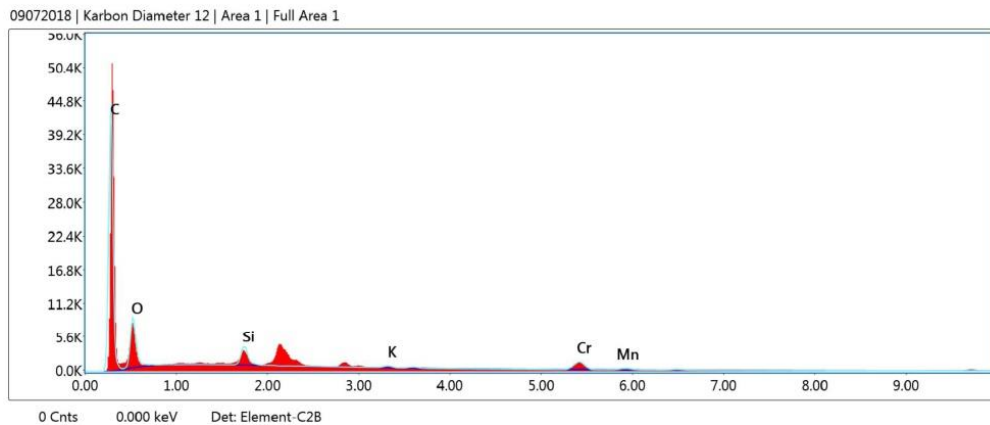


(b)

Gambar 4.30 (a) Karakteristik Tempurung Kelapa Ukuran Diameter 2,00 Mm Setelah Proses Adsorpsi Cr, (b) Karakteristik Kandungan Tempurung Kelapa Setelah Adsorpsi



(a)



(b)

Gambar 4.31 (a) Karakteristik Tempurung Kelapa Ukuran Diameter 1,70 mm Setelah Proses Adsorpsi Cr, (b) Karakteristik Kandungan Tempurung Kelapa Setelah Adsorpsi

Gambar 4.29; 4.30 dan 4.31 menunjukkan bahwa adsorben tempurung kelapa secara efektif menyerap logam, dimana variasi ukuran diameter yang dilakukan keseluruhan sebagian pori-pori pada permukaan adsorben tertutup oleh lapisan logam kromium.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis penyisihan kadar kromium dalam limbah buatan *elektroplating* menggunakan metode presipitasi dan adsorpsi didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Efisiensi penyisihan Cr yang dapat dicapai dari kedua kombinasi metode yang digunakan adalah sebagai berikut;
 - a. Pada proses presipitasi menggunakan kalium hidroksida (Ca(OH)_2) sebagai presipitan diperoleh efisiensi penyisihan sebesar 76% (konsentrasi Cr menurun dari 98,07 mg/l menjadi 23,10 mg/l) pada kecepatan pengadukan 100 rpm dan kondisi pH optimum untuk pengendapan adalah 9.
 - b. *Efluent* presipitasi yang diencerkan kemudian yang dilanjutkan dengan proses adsorpsi, diperoleh efisiensi penyisihan sebesar 97,39% terjadi pada konsentrasi terendah yaitu 11,52 mg/l pada pH 3.
 - c. Proses adsorpsi dilakukan terhadap limbah buatan (tanpa presipitasi) dengan menggunakan ukuran dan konsentrasi yang berbeda. Efisiensi penyisihan yang diperoleh masing-masing berbeda. Efisiensi tertinggi terjadi pada pengenceran 50% dan ukuran adsorben 12 mesh yaitu sebesar 74%.
 - d. Penggunaan kombinasi metode presipitasi dan adsorpsi pada penurunan logam berat dalam limbah dapat dipertimbangkan. Jika kandungan kadar logam rendah dengan pH larutan sangat rendah sangat efektif dilakukan proses adsorpsi, sedangkan jika kadar logam cenderung tinggi, maka untuk mengurangi beban adsorben dapat didahului proses presipitasi.
2. Model Isotherm dan kinetika yang dapat digambarkan dalam proses adsorpsi logam Cr adalah ;
 - a. Model isotherm tempurung kelapa dalam adsorpsi Cr seluruh perlakuan memiliki kecenderungan sesuai dengan model Freundlich karena memiliki nilai R^2 antara 0,843 hingga 0,9685 dibandingkan model Langmuir yang hanya memperoleh R^2 sebesar 0,8096 hingga 0,9354.
 - b. Kinetika adsorpsi tempurung kelapa dalam adsorpsi Cr seluruh variasi yang dilakukan memiliki kecenderungan sesuai dengan model kinetika *pseudo second order* dengan R^2 sebesar 0,995 hingga 1.

3. Penyisihan logam Cr pada proses adsorpsi kontinyu dengan variasi ketinggian diperoleh waktu *breakthrough* yang berbeda. *Breakthrough* pada tinggi media 20 cm terjadi pada jam ke-4, *Breakthrough* pada tinggi media 30 cm terjadi pada tinggi media 30 cm terjadi pada jam ke-6, *Breakthrough* pada tinggi media 40 cm terjadi pada jam ke-14.
4. Kriteria desain yang dapat digunakan untuk mendesain kolom adsorpsi dengan dimensi kolom yang lebih besar melalui pendekatan *scala up* sebagai berikut.
 - a. Kapasitas air yang diolah (Q_b) = 0,05 BV/jam
 - b. Densitas adsorben = 539,20 kg/m³
 - c. Jumlah air terolah per massa adsorben (V_b') = 29,4 liter/ kg

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini dapat diberikan saran sebagai berikut;

1. Karena pertimbangan biaya dan waktu maka diperlukan proses reduksi ion Cr (VI) sebelum dilakukan presipitasi menggunakan basa
2. Karena pada penelitian kontinyu, debit yang digunakan diambil dari kriteria desain, maka disarankan untuk penelitian kontinyu berikutnya menggunakan debit yang ditentukan dari waktu detensi yang sama pada proses *batch*.
3. Pada penelitian ini adsorben yang digunakan adalah karbon aktif tempurung kelapa yang dibuat sendiri, sehingga perlu dilakukan penelitian pembandingan dengan adsorben komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrasool, Fifi, M., 1996. Kinetic of Adsorption (Dissertation), UMI Dissertation Service, Ann Arbor, A Bell & Howell Company, Michigan.
- Acharya, J., Sahu, J., Mohanty, C., Meikap, B., 2009. Removal of Lead (II) from Wastewater by Activated Carbon Developed from Tamarind Wood by Zinc Chloride Activated. Chem. Eng. J. 149. 249-262.
- Adli Hadyan (2012). Pengelolaan Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok
- Ahmad, T., 2012. Adsorption (Adsorption Kinetic, Mechanism of Adsorption, Factor Affecting Adsorption Process, Adsorption Isotherm). Course Material. Bangladesh University of Engineering & Technology. Bangladesh.
- Akbal, F. and Camci, S., 2010. *Comparison of Electrocoagulation and Chemical Coagulation of Heavy Metal Removal*. Chem. Eng. Technol. Turkey
- Benefield, Larry, J. F., Judkins & B. L., Weand. 1982. Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Cheremisinoff, N.P. and Morresi, A.C., (1974). Carbon Adsorption Applications Pollution Engineering, Chap I. Chemical Publishing Co. New York.
- Christianna, R., Samudro, G., Handayani, D.D. 2011. *Studi Penurunan Konsentrasi Kromium dan Seng dalam Limbah Elektroplating*. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok
- Cochrane, E. L., Lu, S., Gibb, S. W., Villaescusa, I., 2006. A Comparison of Low cost Biosorbent and Commercial Sorbent for The Removal of Copper from Aqueous Media. Journal of Hazardous Materials 137(1). 198-206.
- Cronje, K., Chetty, K., Carsky, M., Sahu, J., Meikap, B., 2011. Optimization of Kromium (VI) Sorption Using Developed Activated Carbon from Sugarcane Bagasse with Chemical Activation by Zinc Chloride Desalination 275, 276-284.
- Demirbas, E., Kobya, M., Senturk, E., Ozkan, T., 2004. *Adsorption Kinetics for The Removal of Kromium (VI) from Aqueous Solution on The Activated Carbons Prepared From Agricultural Wastes*. ISSN 0378-4738, Water SA Vol 30(4). Turkey
- Eckenfelder, W. W., 1991. Principle of Water Quality Management. Krieger Publishing Company Krieger Drive Malabar. Florida
- Fajrianti, H., Wiharyanto, O. dan Wisnu, W. 2016. Pengaruh waktu perendaman dalam aktivator NaOH dan Debit Aliran terhadap Penurunan Krom Total (Cr) dan Seng (Zn) pada Limbah Cair Industri Elektroplating dengan Menggunakan Arang Aktif dari Kulit Pisang. Jurnal Teknik Lingkungan, 5(1), hal. 55-65
- Febrinto, J., Kosasih A. N., Sunarso, J., Ju, Y., Indraswati, N., Ismadji, S., Equilibrium and Kinetic Studies in Adsorption of Heavy Metals using Biosorben: summary of Recent Studies. Journal of Hazardous Materials . 162 (2-3). 616- 645.

- Fu, F. and Wang, Q., 2011. *Removal of Heavy Metal Ions from Wastewater: A Review*. Jenvman. Guangzhou.China
- Hameed, B. H. dan Ahmad, A. A. 2012. Fixed Bed Adsorption of Reactive Azo Dye Onto Granular Activated Carbon Prepared from Waste. *Journal of Hazardous Materials*, 175(2), hal. 298-303
- Herlandien, Y. L. 2013. Pemanfaatan Arang Aktif Sebagai Adsorben Logam Berat dalam Air Lindi TPA Pakusari Jember. Laporan penelitian Jurusan Kimia MIPA Universitas Jember. Jember.
- Ho, Y.S., 2006, Review of Second-order Models for Adsorption Systems, *J.Hazard. Mater., B*, 136, 681–689
- Indrawanti, A. S., 2006. Pemanfaatan Akar Wangi Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kandungan Pb Dalam Larutan Pb Asetat. Thesis. Intitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Jamhari. (2009). Reduksi Logam Berat Hg, Ag, dan Cr Limbah Laboratorium menggunakan Metode Presipitasi dan Adsorpsi. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 1995. Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri Pelapisan Logam.
- Kushwaha, K., Gupta, N., Chattopadhyaya, M.C., 2012. *Adsorptive removal of Pb^{2+} , Co^{2+} and Ni^{2+} by Hidroxyapatite/Chitosan Compite From Aqueous Solution*. *J.Chem. Eng.* 43 125-131. India
- Masduqi, A. dan Assomadi, A. F., (2016). Operasi dan Proses Pengolahan Air. ITS Press, Surabaya
- Metcalf & Eddy. 1991. *Wastewater Engineering*, Third Edition. New York. 317 p.
- Meirinna, Fahrurrazi, Santoso, S. J. 2013. Sistem Penurunan Kadar Krom (III) Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Dengan Kombinasi Presipitasi Menggunakan Natrium Hidroksida dan Adsorpsi Menggunakan Bagase Fly Ash.
- Mongomery, J. M., 1985. *Water Treatment Principles and design*. John Wiley and Sons
- Nadhifah, I. and Ulfen, I. 2013. *Adsorpsi Ion Cr(VI) Menggunakan Karbon Aktif yang Terbuat dari Tempurung Biji Nyamplung*. *Jurnal Sains dan Seni Pomits Vol.1-3*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Nugroho, M. D., Ganjar, S. dan Zainus, S. 2016. Studi Penurunan Kadar Logam Berat pada Limbah Caie dari Industri Pelapisan Logam dengan Proses Koagulasi Flokulasi. *Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro*, Semarang
- Palar, H., 2012. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta, Jakarta Indonesia.
- Pemerintah RI, 2013. Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha lainnya. Indonesia.
- Patterson JW. 1985 *Industrial Wastewater Treatment Technology 2nd edn*. Butterworth-Heinemann, London.Ingggris

- Pokhrel, D. and Viraraghavan, T., 2008. *Arsenic Removal from an Aqueous Solution By Modified A Niger Biomass: Batch Kinetic and Isotherm Studies*. J.Haz.Material 150(818-825).Canada
- Raji, C. and Anirudhan, T. S., 1997. *Batch Cr(VI) Removal By Polyacrylamide Grafted Sawdust: Kinetics dan Thermodynamics*. PII: S0043-1354(98)00150-X. India
- Rahman, M. M., Awang, M., Mohosina, B. S., Kamaruzzaman, B. Y., Nik, W. B. W., Adnan, C. M. C., 2008. Waste Palm Shell Converted to High Efficient Activated Carbon by Chemical Activation Method and Its Adsorption Capacity Tested by Water Filtration. APCBEE Procedia 1. 239-298.
- Razif, M., Moesriati, A., Widjaja, T. dan Agustina, S., 1999, Penelitian Pengolahan Detergen Air Baku IPA Kayun Di Surabaya Secara Batch dan Kontinyu dengan Memakai Media Adsorpsi Batubara, Pusat Penelitian KLH, Lembaga Penelitian ITS. Surabaya.
- Reynold, T. D. Dan Richard, P. A., 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition, PWS Publishing Company, USA.
- Riskanora, A. V., 2008. Studi Penurunan Logam Berat Timbal (Pb^{2+}) dan Seng (Zn^{2+}) dalam Limbah Elektroplating Dengan Penambahan Dolomit Hidrat Pada Proses Batch. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Saeni, M. S. 1997. Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat dengan Analisis Rambut. Orasi Ilmiah, Guru Besar Tetap Ilmu Kimia lingkungan FMIPA IPB. Bogor.
- Sari, R. Y. A., 2009. Teknik Pengolahan Limbah Elektroplating dengan Pemanfaatan Kembali Limbah Elektroplating. Thesis. Universitas Teknologi Yogyakarta. Yogyakarta
- Selomulyo, C., Meeyoo, V., and Amal, R., 1999. *Mechanisms of Cr(VI) Removal from Water by Various Types of Activated Carbons*. J.Chem.Technol.Biotechnol. 74 111-122
- Slamet, A. and Masduqi, A. 2000. Satuan Proses. DUE-Like Project Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Sumada, K., 2006. *Kajian Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Elektroplating Yang Efisien*. Skripsi. UPN Veteran. Surabaya.
- Syauqiah, I., Amalia, M., Kartini, H.A., 2011. *Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk Pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat Dengan Arang Aktif*. Info Teknik, Volume 12(1).
- Tchobanoglous, G., Burtoun, F. L., Stensel, H. D., 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Fourth Edition. McGraw-Hill Companies Inc. USA.
- Trihadiningrum, Y. 2000. Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Buku Ajar Jurusan Teknik Lingkungan FTSK-ITS. Surabaya
- Triwulandari, R., Mirwan, A., Pahlevi, M.N., 2012. *Pengambilan Logam Cr^{6+} dan Cr Total Dari Limbah Industri Elektroplating Secara Elektrokoagulasi*. ISSN Vol. 1(1). Universitas Lambung Mangkurat

- Vogel, A. I., 1979. Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro, Bagian Satu, Diterjemahkan oleh Setiono, L., dkk. Jakarta: PT Kalma Media Pustaka
- Wahyudianto, F. E., 2016. Studi Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Darah (Anadara granosa) Sebagai Adsorben Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} . Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Wardhani, E., Dirgawati, M., Alvina, I. F. 2013. Kombinasi Proses Presipitasi dan Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Limbah Industri Penyamakan. Ling. Tropis, Vol (1), hal. 39-52
- Wilyanda, Yemilda dan Chairul. (2015) Pengolahan Limbah Cair Logam Berat (Limbah B3) secara Presipitasi dan Koagulasi di UPT Pengujian Dinas Pekerjaan Umum. Jom FTEKNIK, 2(2), hal.1-10
- Widarti, P. S. dan Titah, H. S. 2007. Pengaruh Penggunaan Serbuk Biji Kelor (*Moringa oleifera*) Terhadap Penurunan Konsentrasi Cu (II) Dalam Limbah Cair Buatan Dengan Proses Adsorpsi. Jurnal Purifikasi ISSN 1411-3465, Vol 8 (1), hal.25-30
- Wu, Q., Chen, J., Clark, M., Yu, Y., 2014. Adsorption of Copper to Different Biogenic Oyster Shell Structures. Applied Surface Science Journal 311. 264-272
- Yuniarto, A., 1999. Studi Kemampuan Batubara untuk Menurunkan Konsentrasi Surfaktan dalam Larutan Deterjen Dengan Proses Adsorpsi. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Analisis Konsentrasi Logam Cr (mg/l) pada percobaan Isotherm Adsorpsi

Ukuran Adsorben	Konsentrasi Larutan (%)	Massa Adsorben (gr)					
		0,5	1	2	4	6	8
8 Mesh	100	19,90	17,62	14,62	11,38	8,22	5,18
	75	14,05	12,04	8,71	5,14	2,05	2,03
	50	8,10	5,12	3,08	2,88	1,48	1,51
10 Mesh	100	16,98	15,28	10,32	8,85	4,90	2,86
	75	12,11	10,61	5,89	2,08	1,32	1,30
	50	7,42	4,65	2,62	1,52	0,59	0,57
12 Mesh	100	14,62	10,56	7,68	4,05	2,81	2,90
	75	8,24	7,18	4,98	1,86	0,69	0,60
	50	5,83	3,48	2,03	1,02	0,31	0,30

Lampiran 2. Data Analisis Konsentrasi Logam Cr (mg/l) pada percobaan Kinetika Adsorpsi

Ukuran Adsorben	Konsentrasi Larutan (%)	Waktu Kontak (jam)				
		0,5	1	2	4	6
8 Mesh	100	16,12	11,36	6,70	2,88	2,89
	75	8,05	5,10	3,86	1,58	1,60
	50	5,60	3,01	2,25	1,04	1,05
10 Mesh	100	10,94	8,01	3,61	1,80	1,60
	75	5,61	3,81	1,90	1,89	0,80
	50	3,91	2,38	1,22	0,58	0,55
12 Mesh	100	8,65	6,24	2,76	1,26	1,30
	75	4,40	3,26	1,46	0,74	0,60
	50	3,68	3,32	1,21	0,55	0,56

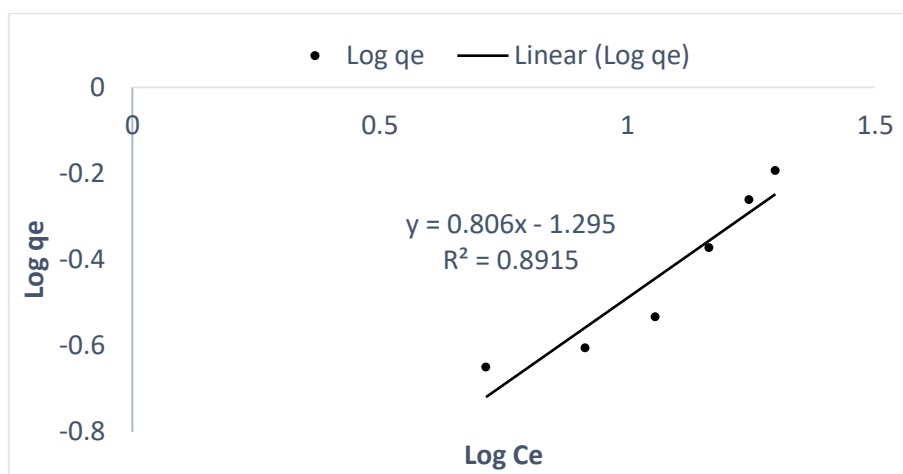
Lampiran 3. Perhitungan Isotherm Adsorpsi

Model Isotherm Adsorpsi Freundlich Granular 8 Mesh; konsentrasi Cr 23,10 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	Log qe	Log Ce
90	0,5	23,10	19,90	100	0,6400	-0,1938	1,2988
90	1	23,10	17,62	100	0,5480	-0,2612	1,2460
90	2	23,10	14,62	100	0,4240	-0,3726	1,1649
90	4	23,10	11,38	100	0,2930	-0,5331	1,0561
90	6	23,10	8,22	100	0,2480	-0,6055	0,9149
90	8	23,10	5,18	100	0,2240	-0,6497	0,7143

Pada **Granular 8 Mesh; konsentrasi Cr 100%**, untuk mengetahui model isotherm adsorpsi freundlich diplotkan Log qe dan Log Ce

Log qe	Log Ce
-0,1938	1,2988
-0,2612	1,2460
-0,3726	1,1649
-0,5331	1,0561
-0,6055	0,9149
-0,6497	0,7143



$$y = ax + b$$

$$q_e = K C^{(1/n)}$$

$$\log q_e = 1/n \log C_e + \log K$$

$$y = 0,806x - 1,295$$

$$n = 1/a \quad KF = 10^b$$

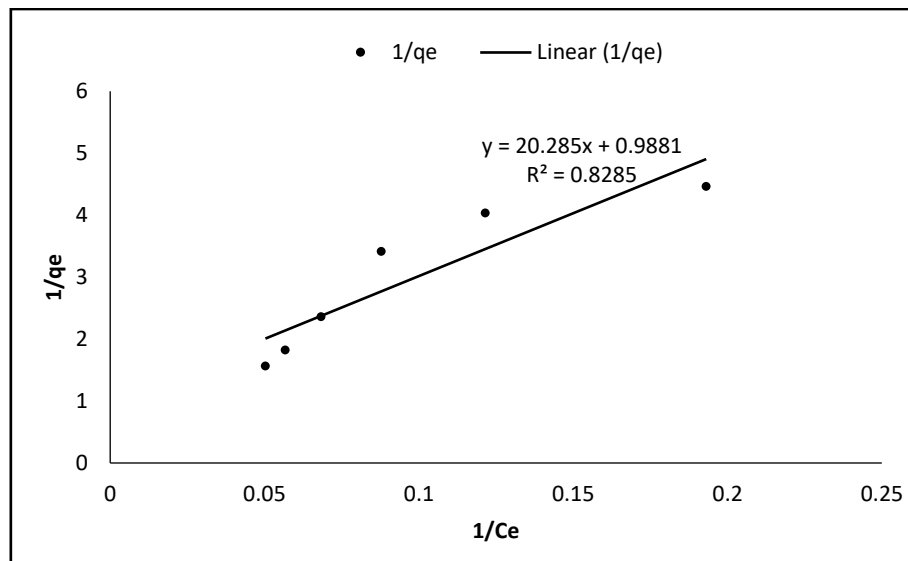
a	b	n	KF	R ²
0,806	- 1,295	1,2407	0,0507	0,8915

Model Isotherm Adsorpsi Langmuir Granular 8 Mesh; konsentrasi Cr 23,10 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
90	0,5	23,10	19,90	100	0,6400	0,0503	1,5625
90	1	23,10	17,62	100	0,5480	0,0568	1,8248
90	2	23,10	14,62	100	0,4240	0,0684	2,3585
90	4	23,10	11,38	100	0,2930	0,0879	3,4129
90	6	23,10	8,22	100	0,2480	0,1216	4,0323
90	8	23,10	5,18	100	0,2240	0,1931	4,4643

Pada **Granular 8 Mesh; konsentrasi Cr 23,10 mg/l** untuk mengetahui model isotherm adsorpsi Langmuir diplotkan 1/qe dan 1/Ce

1/Ce	1/qe
0,0503	1,5625
0,0568	1,8248
0,0684	2,3585
0,0879	3,4129
0,1216	4,0323
0,1931	4,4643



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 20,285x + 0,9881$$

$$KL = 1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

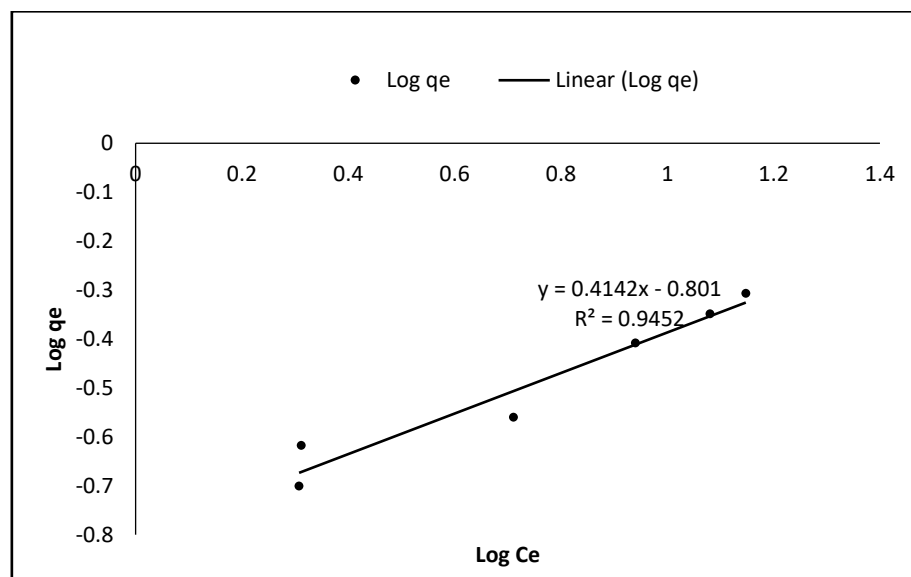
a	b	KL	qm	R ²
20,285	0,9881	0,0487	1,0120	0,8285

Model Isotherm Adsorpsi Freundlich Granular 8 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	Log qe	Log Ce
90	0,5	16,5180	14,05	100	0,4936	-0,3066	1,1477
90	1	16,5180	12,04	100	0,4478	-0,3489	1,0806
90	2	16,5180	8,71	100	0,3904	-0,4085	0,9400
90	4	16,5180	5,14	100	0,2755	-0,5599	0,7109
90	6	16,5180	2,05	100	0,2411	-0,6178	0,3117
90	8	16,5180	2,03	100	0,1992	-0,7007	0,3075

Pada **Granular 8 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l**, untuk mengetahui model isotherm adsorpsi freundlich diplotkan Log qe dan Log Ce

Log qe	Log Ce
-0,3066	1,1477
-0,3489	1,0806
-0,4085	0,9400
-0,5599	0,7109
-0,6178	0,3117
-0,7007	0,3075



$$y = ax + b$$

$$q_e = K C^{(1/n)}$$

$$\log q_e = 1/n \log C_e + \log K$$

$$y = 0,4142x - 0,801$$

$$n = 1/a \quad KF = 10^{-b}$$

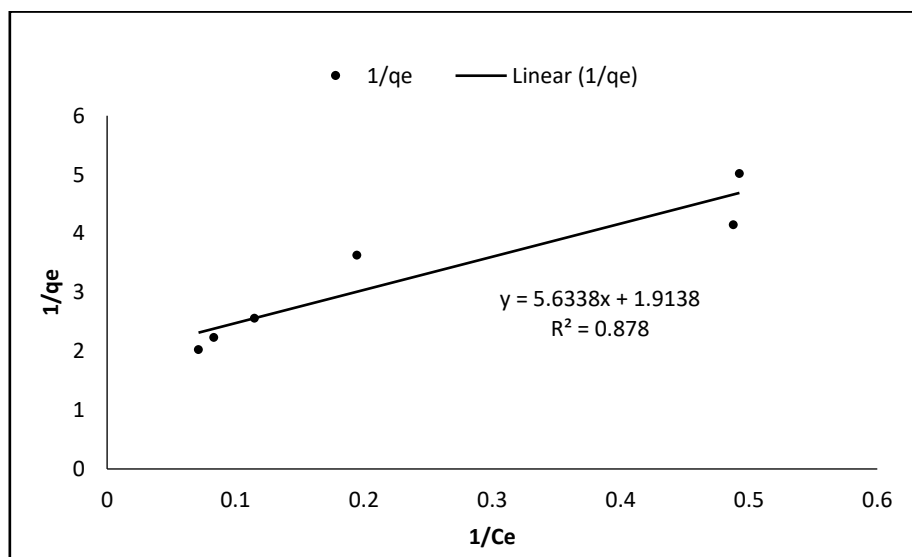
a	b	n	KF	R ²
0,4142	- 0,801	2,4143	0,1581	0,9452

Model Isotherm Adsorpsi Langmuir Granular 8 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
90	0,5	16,5180	14,05	100	0,4936	0,0712	2,0259
90	1	16,5180	12,04	100	0,4478	0,0831	2,2331
90	2	16,5180	8,71	100	0,3904	0,1148	2,5615
90	4	16,5180	5,14	100	0,2755	0,1945	3,6298
90	6	16,5180	2,05	100	0,2411	0,4878	4,1477
90	8	16,5180	2,03	100	0,1992	0,4926	5,0201

Pada **Granular 8 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l**, untuk mengetahui Model Isotherm Adsorpsi Langmuir diplotkan $1/q_e$ dan $1/C_e$

$1/C_e$	$1/q_e$
0,0712	2,0259
0,0831	2,2331
0,1148	2,5615
0,1945	3,6298
0,4878	4,1477
0,4926	5,0201



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 5,6338x + 1,9138$$

$$KL = 1/q_m \cdot a \quad q_m = 1/b$$

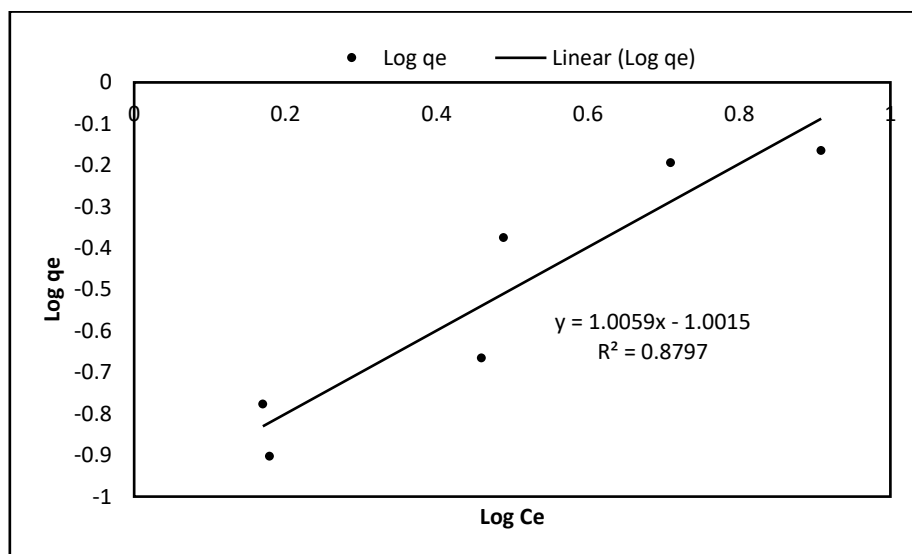
a	b	KL	qm	R ²
5,6338	1,9138	0,3397	0,5225	0,878

Model Isotherm Adsorpsi Freundlich Granular 8 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	Log qe	Log Ce
90	0,5	11,5230	8,10	100	0,6846	-0,1646	0,9085
90	1	11,5230	5,12	100	0,6403	-0,1936	0,7092
90	2	11,5230	3,08	100	0,4221	-0,3746	0,4885
90	4	11,5230	2,88	100	0,2161	-0,6653	0,4594
90	6	11,5230	1,48	100	0,1674	-0,7762	0,1702
90	8	11,5230	1,51	100	0,1252	-0,9024	0,1789

Pada **Granular 8 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52 mg/l**, untuk mengetahui model isotherm adsorpsi freundlich diplotkan Log qe dan Log Ce

Log qe	Log Ce
-0,1646	0,9085
-0,1936	0,7092
-0,3746	0,4885
-0,6653	0,4594
-0,7762	0,1702
-0,9024	0,1789



$$y = ax + b$$

$$q_e = K C^{(1/n)}$$

$$\log q_e = 1/n \log C_e + \log K$$

$$y = 1,0059x - 1,0015$$

$$n = 1/a \quad KF = 10^b$$

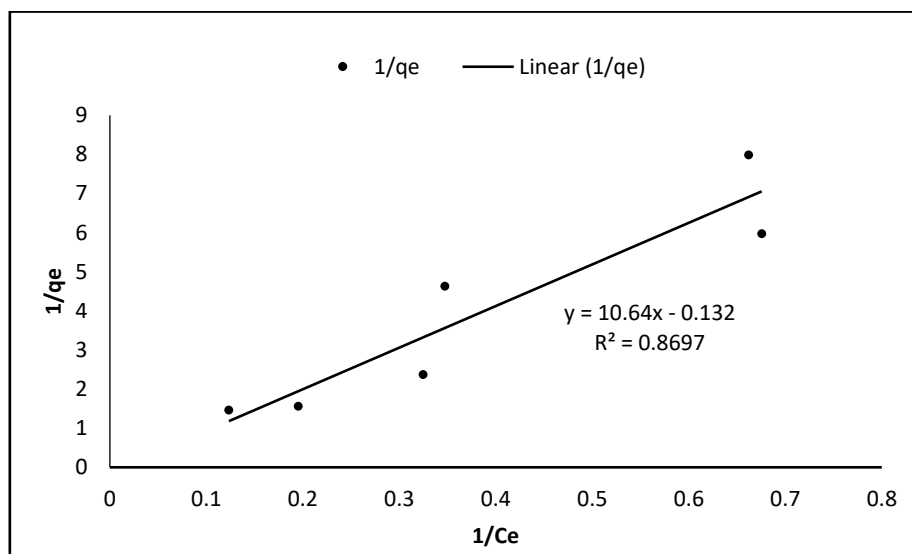
a	b	n	KF	R ²
1,0059	- 1,0015	0,9941	0,0996	0,8797

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Granular 8 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
90	0,5	11,5230	8,10	100	0,6846	0,1234	1,4607
90	1	11,5230	5,12	100	0,6403	0,1953	1,5618
90	2	11,5230	3,08	100	0,4221	0,3246	2,3691
90	4	11,5230	2,88	100	0,2161	0,3472	4,6275
90	6	11,5230	1,48	100	0,1674	0,6756	5,9737
90	8	11,5230	1,51	100	0,1252	0,6622	7,9872

Pada **Granular 8 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52 mg/l**, untuk mengetahui Model Isotherm Adsorpsi Langmuir diplotkan $1/q_e$ dan $1/C_e$

$1/C_e$	$1/q_e$
0,1234	1,4607
0,1953	1,5618
0,3246	2,3691
0,3472	4,6275
0,6756	5,9737
0,6622	7,9872



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 10,64x - 0,132$$

$$KL = 1/q_m \cdot a \quad q_m = 1/b$$

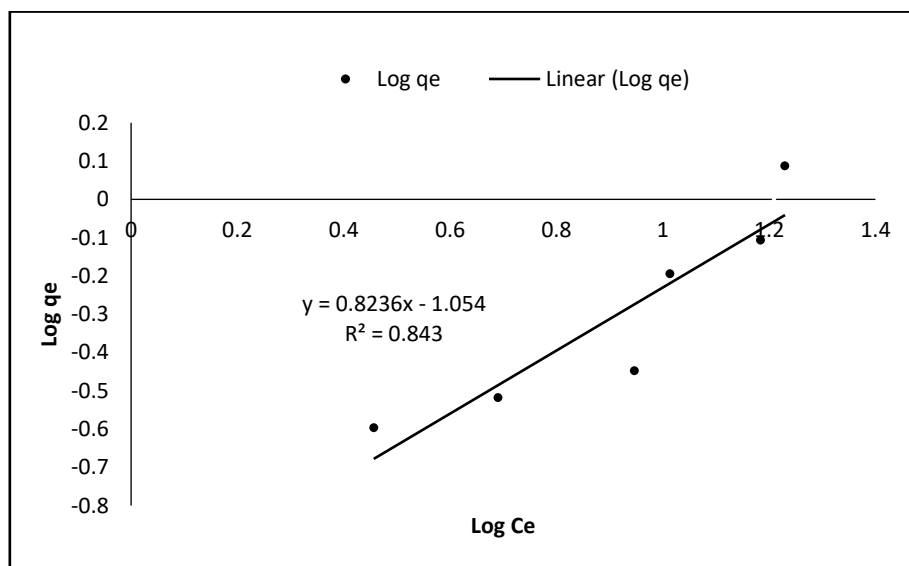
a	b	KL	qm	R ²
10,64	- 0,132	0,0124	7,5758	0,8697

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Granular 10 Mesh; Konsentrasi 23,10 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	Log qe	Log Ce
90	0,5	23,10	16,98	100	1,2240	0,0878	1,2299
90	1	23,10	15,28	100	0,7820	-0,1068	1,1841
90	2	23,10	10,32	100	0,6390	-0,1945	1,0137
90	4	23,10	8,85	100	0,3563	-0,4482	0,9469
90	6	23,10	4,90	100	0,3033	-0,5181	0,6902
90	8	23,10	2,86	100	0,2530	-0,5969	0,4564

Pada **Granular 10 Mesh; Konsentrasi 23,10 mg/l**, untuk mengetahui model isotherm adsorpsi freundlich diplotkan Log qe dan Log Ce

Log qe	Log Ce
0,0878	1,2299
-0,1068	1,1841
-0,1945	1,0137
-0,4482	0,9469
-0,5181	0,6902
-0,5969	0,4564



$$y = ax + b$$

$$q_e = K C^{(1/n)}$$

$$\log q_e = 1/n \log C_e + \log K$$

$$y = 0,8236x - 1,054$$

$$n = 1/a \quad KF = 10^b$$

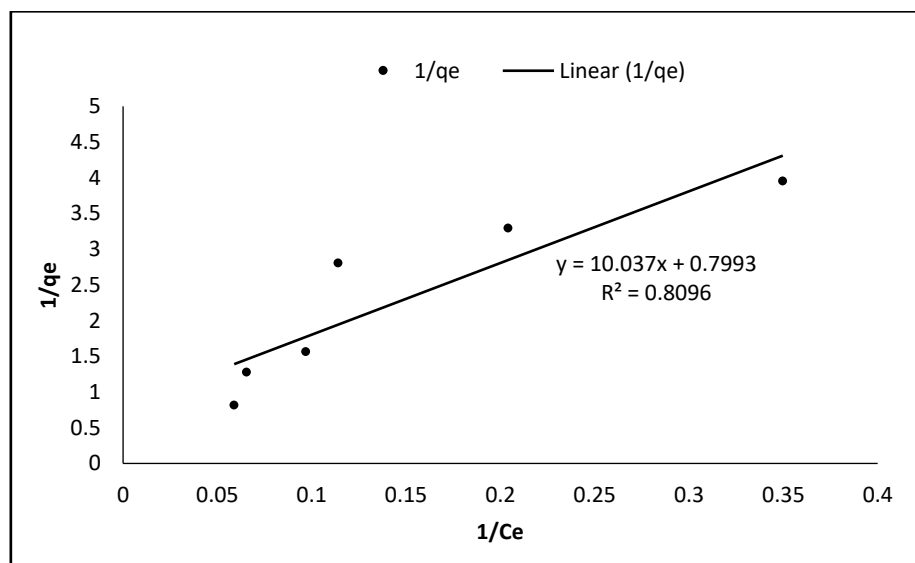
a	b	n	KF	R ²
0,8236	- 1,054	1,2142	0,0883	0,843

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Granular 10 Mesh; Konsentrasi Cr 23,10 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
90	0,5	23,10	16,98	100	1,2240	0,0589	0,8179
90	1	23,10	15,28	100	0,7820	0,0654	1,2788
90	2	23,10	10,32	100	0,6390	0,0969	1,5649
90	4	23,10	8,85	100	0,3563	0,1139	2,8066
90	6	23,10	4,90	100	0,3033	0,2041	3,2971
90	8	23,10	2,86	100	0,2530	0,3497	3,9526

Pada **Granular 10 Mesh; Konsentrasi Cr 23,10 mg/l**, untuk mengetahui Model Isotherm Adsorpsi Langmuir diplotkan $1/q_e$ dan $1/C_e$

1/Ce	1/qe
0,0589	0,8179
0,0654	1,2788
0,0969	1,5649
0,1139	2,8066
0,2041	3,2971
0,3497	3,9526



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 10,037x + 0,7993$$

$$KL = 1/q_m \cdot a \quad q_m = 1/b$$

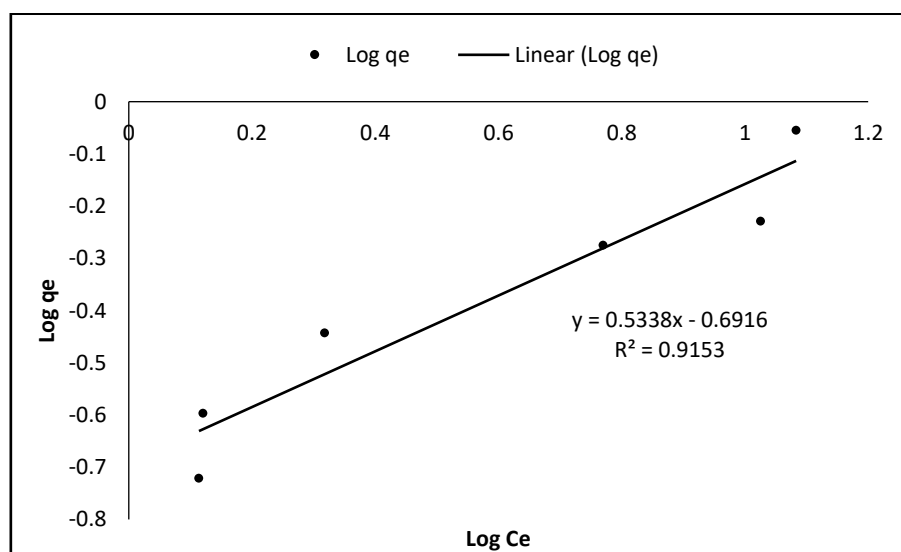
a	b	KL	qm	R ²
10,037	0,7993	0,0796	1,2511	0,8096

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Granular 10 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	Log qe	Log Ce
90	0,5	16,5180	12,11	100	0,8816	-0,0547	1,0831
90	1	16,5180	10,61	100	0,5908	-0,2286	1,0257
90	2	16,5180	5,89	100	0,5314	-0,2746	0,7701
90	4	16,5180	2,08	100	0,3609	-0,4426	0,3180
90	6	16,5180	1,32	100	0,2533	-0,5964	0,1205
90	8	16,5180	1,30	100	0,1902	-0,7208	0,1139

Pada **Granular 10 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l**, untuk mengetahui model isotherm adsorpsi freundlich diplotkan Log qe dan Log Ce

Log qe	Log Ce
-0,0547	1,0831
-0,2286	1,0257
-0,2746	0,7701
-0,4426	0,3180
-0,5964	0,1205
-0,7208	0,1139



$$y = ax + b$$

$$q_e = K C^{(1/n)}$$

$$\log q_e = 1/n \log C_e + \log K$$

$$y = 0,5338x - 0,6916$$

$$n = 1/a \quad KF = 10^b$$

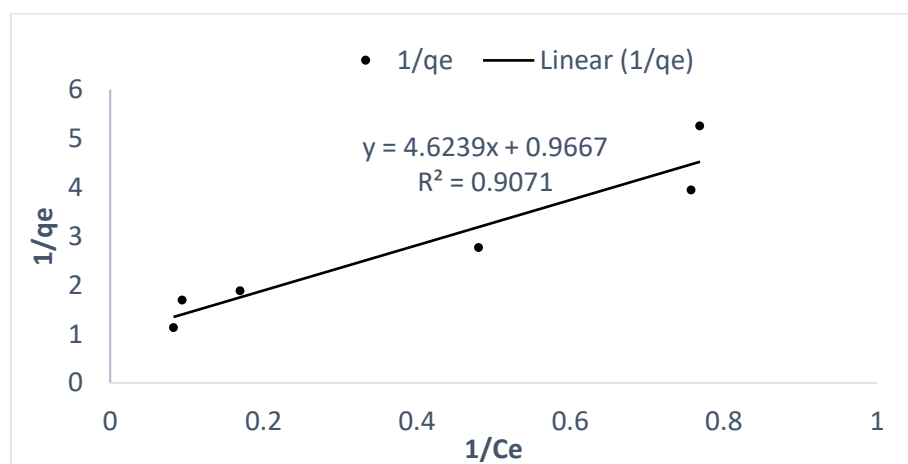
a	b	n	KF	R ²
0,5338	- 0,6916	1,8734	0,2034	0,9153

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Granular 10 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
90	0,5	16,5180	12,11	100	0,8816	0,0826	1,1343
90	1	16,5180	10,61	100	0,5908	0,0942	1,6926
90	2	16,5180	5,89	100	0,5314	0,1698	1,8818
90	4	16,5180	2,08	100	0,3609	0,4807	2,7709
90	6	16,5180	1,32	100	0,2533	0,7576	3,9479
90	8	16,5180	1,30	100	0,1902	0,7692	5,2576

Pada **Granular 10 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l**, untuk mengetahui Model Isotherm Adsorpsi Langmuir diplotkan $1/q_e$ dan $1/C_e$

1/Ce	1/qe
0,0826	1,1343
0,0942	1,6926
0,1698	1,8818
0,4807	2,7709
0,7576	3,9479
0,7692	5,2576



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 4,6239x + 0,9667$$

$$KL = 1/q_m \cdot a \quad q_m = 1/b$$

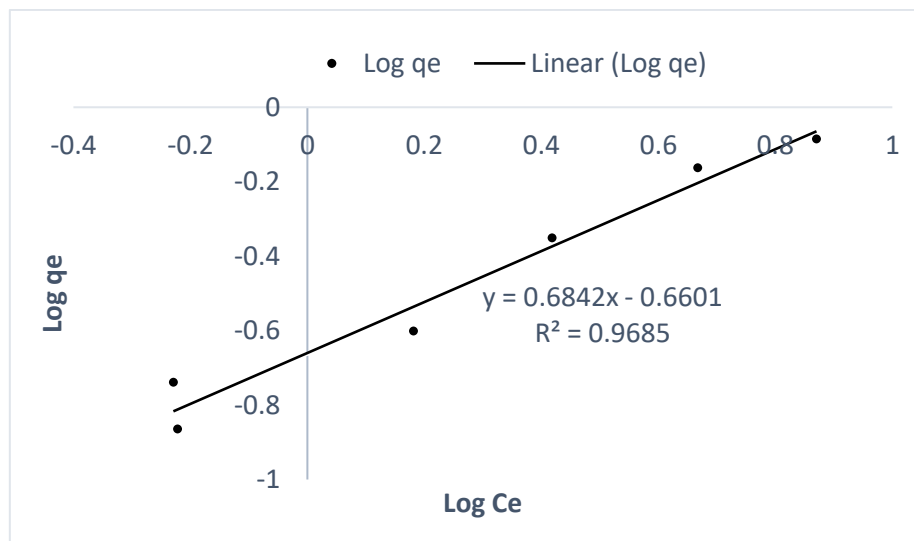
a	b	KL	qm	R ²
4,6239	0,9667	0,2091	1,0344	0,9071

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Granular 10 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	Log qe	Log Ce
90	0,5	11,5230	7,42	100	0,8206	-0,0859	0,8704
90	1	11,5230	4,65	100	0,6873	-0,1629	0,6674
90	2	11,5230	2,62	100	0,4452	-0,3514	0,4183
90	4	11,5230	1,52	100	0,2501	-0,6019	0,1818
90	6	11,5230	0,59	100	0,1822	-0,7395	-0,2291
90	8	11,5230	0,60	100	0,1365	-0,8649	-0,2218

Pada **Granular 10 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52**, untuk mengetahui model isotherm adsorpsi freundlich diplotkan Log qe dan Log Ce

Log qe	Log Ce
-0,0859	0,8704
-0,1629	0,6674
-0,3514	0,4183
-0,6019	0,1818
-0,7395	-0,2291
-0,8649	-0,2218



$$y = ax + b$$

$$q_e = K C^{(1/n)}$$

$$\log q_e = 1/n \log C_e + \log K$$

$$y = 0,6842x - 0,6601$$

$$n = 1/a \quad KF = 10^b$$

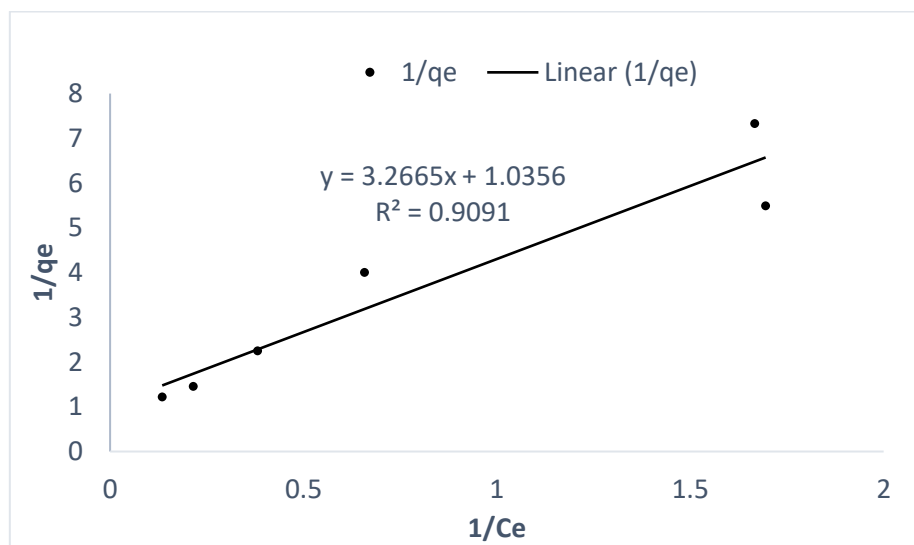
a	b	n	KF	R ²
0,6842	- 0,6601	1,4615	0,2187	0,9685

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Granular 10 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
90	0,5	11,5230	7,42	100	0,8206	0,1348	1,2186
90	1	11,5230	4,65	100	0,6873	0,2150	1,4549
90	2	11,5230	2,62	100	0,4452	0,3817	2,2462
90	4	11,5230	1,52	100	0,2501	0,6579	3,9984
90	6	11,5230	0,59	100	0,1822	1,6949	5,4885
90	8	11,5230	0,60	100	0,1365	1,6667	7,3260

Pada **Granular 10 Mesh; konsentrasi Cr 50%**, untuk mengetahui Model Isotherm Adsorpsi Langmuir diplotkan $1/q_e$ dan $1/C_e$

1/Ce	1/qe
0,1348	1,2186
0,2150	1,4549
0,3817	2,2462
0,6579	3,9984
1,6949	5,4885
1,6667	7,3260



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 3,2665x + 1,0356$$

$$KL = 1/q_m \cdot a \quad q_m = 1/b$$

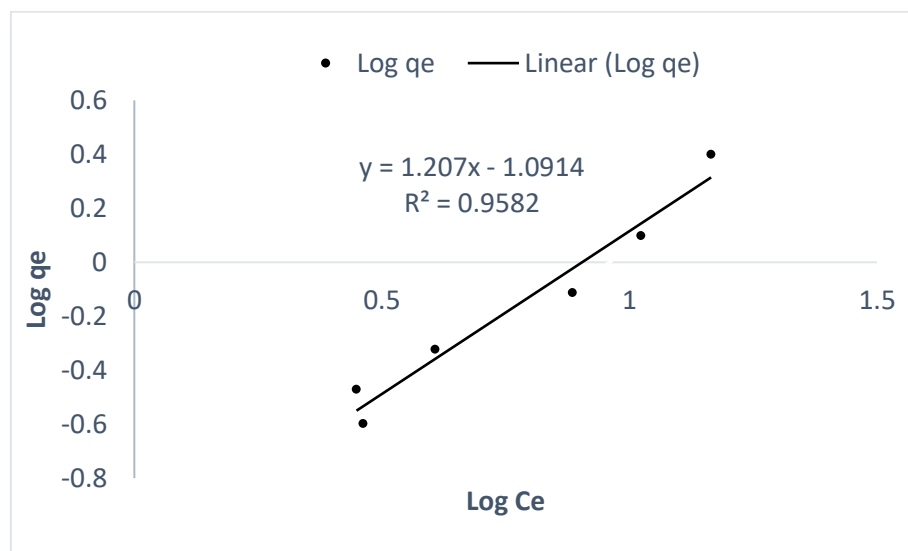
a	b	KL	qm	R ²
3,2665	1,0356	0,3170	0,9656	0,9091

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Granular 12 Mesh; Konsentrasi Cr 23,10 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	Log qe	Log Ce
90	0,5	23,10	14,62	100	1,6960	0,3993	1,1649
90	1	23,10	10,56	100	1,2540	0,0983	1,0236
90	2	23,10	7,68	100	0,7710	-0,1129	0,8853
90	4	23,10	4,05	100	0,4763	-0,3221	0,6074
90	6	23,10	2,81	100	0,3382	-0,4708	0,4487
90	8	23,10	2,90	100	0,2525	-0,5977	0,4624

Pada **Granular 12 Mesh; konsentrasi Cr 100%**, untuk mengetahui model isotherm adsorpsi freundlich diplotkan Log qe dan Log Ce

Log qe	Log Ce
0,3993	1,1649
0,0983	1,0236
-0,1129	0,8853
-0,3221	0,6074
-0,4708	0,4487
-0,5977	0,4624



$$y = ax + b$$

$$q_e = K C^{(1/n)}$$

$$\log q_e = 1/n \log C_e + \log K$$

$$y = 1,207x - 1,0914$$

$$n = 1/a \quad KF = 10^b$$

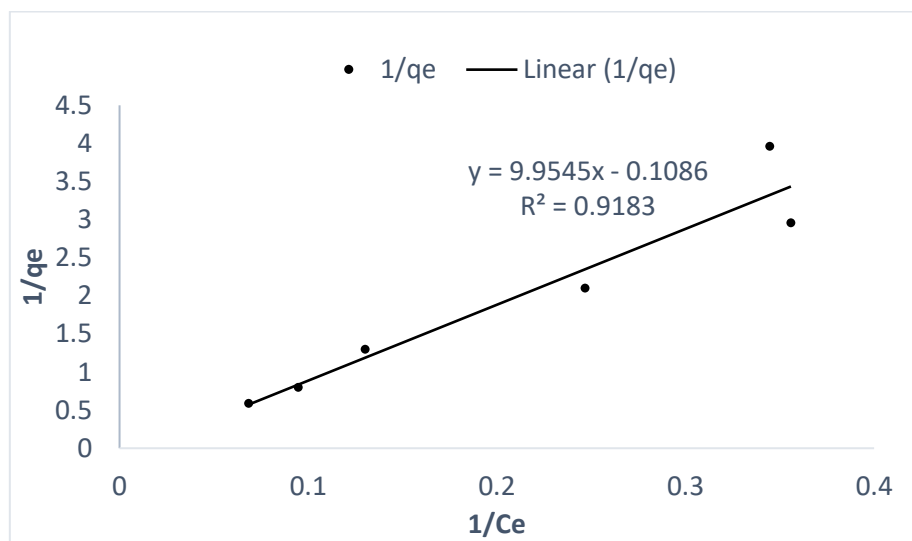
a	b	n	KF	R ²
1,207	- 1,0914	0,8285	0,0810	0,9582

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Granular 12 Mesh; konsentrasi Cr 23,10 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
90	0,5	23,10	14,62	100	1,6960	0,0684	0,5896
90	1	23,10	10,56	100	1,2540	0,0947	0,7974
90	2	23,10	7,68	100	0,7710	0,1302	1,2970
90	4	23,10	4,05	100	0,4763	0,2469	2,0995
90	6	23,10	2,81	100	0,3382	0,3559	2,9568
90	8	23,10	2,90	100	0,2525	0,3448	3,9604

Pada **Granular 12 Mesh; konsentrasi Cr 100%**, untuk mengetahui Model Isotherm Adsorpsi Langmuir diplotkan 1/qe dan 1/Ce

1/Ce	1/qe
0,0684	0,5896
0,0947	0,7974
0,1302	1,2970
0,2469	2,0995
0,3559	2,9568
0,3448	3,9604



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 9,9545x - 0,1086$$

$$KL = 1/q_m \cdot a \quad q_m = 1/b$$

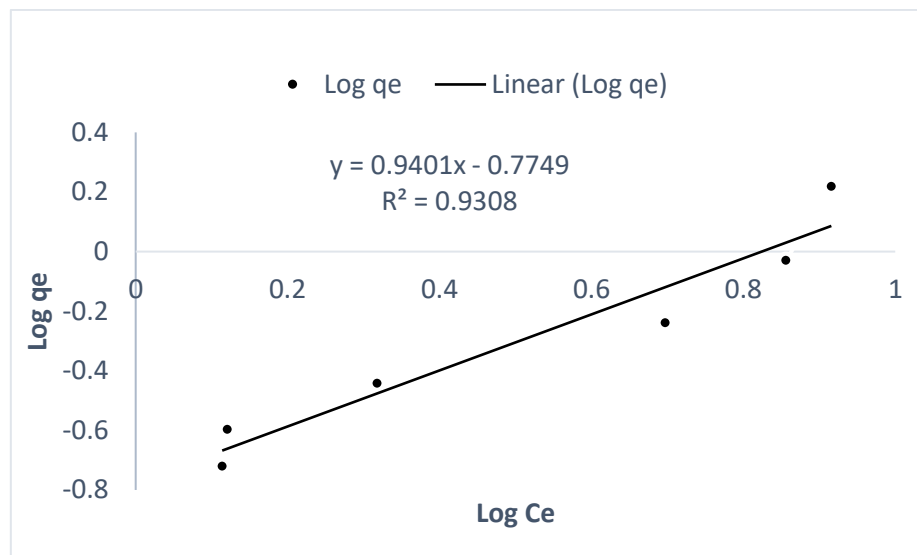
a	b	KL	qm	R ²
9,9545	-0,1086	0,0100	9,2081	0,9183

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Granular 12 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	Log qe	Log Ce
90	0,5	16,5180	8,24	100	1,6556	0,2189	0,9159
90	1	16,5180	7,18	100	0,9338	-0,0297	0,8561
90	2	16,5180	4,98	100	0,5769	-0,2389	0,6972
90	4	16,5180	2,08	100	0,3615	-0,4419	0,3181
90	6	16,5180	1,32	100	0,2533	-0,5964	0,1206
90	8	16,5180	1,30	100	0,1902	-0,7208	0,1139

Pada **Granular 12 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l**, untuk mengetahui model isotherm adsorpsi freundlich diplotkan Log qe dan Log Ce

Log qe	Log Ce
0,2189	0,9159
-0,0297	0,8561
-0,2389	0,6972
-0,4419	0,3181
-0,5964	0,1206
-0,7208	0,1139



$$y = ax + b$$

$$q_e = K C^{(1/n)}$$

$$\log q_e = 1/n \log C_e + \log K$$

$$y = 0,9401x - 0,7749$$

$$n = 1/a \quad KF = 10^b$$

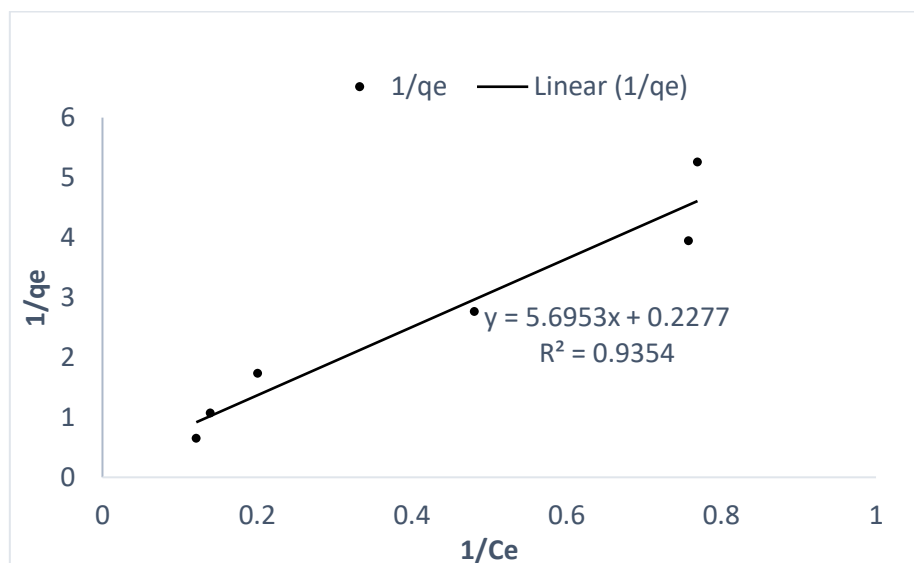
a	b	n	KF	R ²
0,9401	- 0,7749	1,0637	0,1679	0,9308

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Granular 12 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
90	0,5	16,5180	8,24	100	1,6556	0,1213	0,6521
90	1	16,5180	7,18	100	0,9338	0,1393	1,0709
90	2	16,5180	4,98	100	0,5769	0,2008	1,7334
90	4	16,5180	2,08	100	0,3615	0,4808	2,7663
90	6	16,5180	1,32	100	0,2533	0,7576	3,9479
90	8	16,5180	1,30	100	0,1902	0,7692	5,2576

Pada **Granular 12 Mesh; Konsentrasi Cr 16,52 mg/l**, untuk mengetahui Model Isotherm Adsorpsi Langmuir diplotkan 1/qe dan 1/Ce

1/Ce	1/qe
0,1213	0,6521
0,1393	1,0709
0,2008	1,7334
0,4808	2,7663
0,7576	3,9479
0,7692	5,2576



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 5,6953x + 0,2277$$

$$KL = 1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

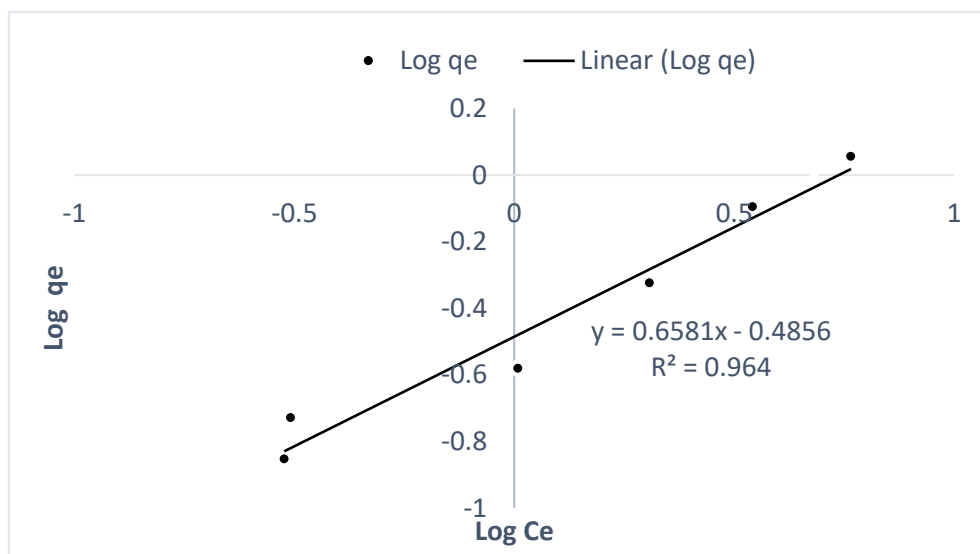
a	b	KL	qm	R ²
5,6953	0,2277	0,0398	4,4053	0,9354

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Granular 12 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	Log qe	Log Ce
90	0,5	11,5230	5,83	100	1,1386	0,0564	0,7656
90	1	11,5230	3,48	100	0,8043	-0,0946	0,5416
90	2	11,5230	2,03	100	0,4746	-0,3237	0,3075
90	4	11,5230	1,02	100	0,2626	-0,5807	0,0086
90	6	11,5230	0,31	100	0,1869	-0,7284	-0,5086
90	8	11,5230	0,30	100	0,1403	-0,8529	-0,5229

Pada **Granular 12 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52 mg/l**, untuk mengetahui model isotherm adsorpsi freundlich diplotkan Log qe dan Log Ce

Log qe	Log Ce
0,0564	0,7656
-0,0946	0,5416
-0,3237	0,3075
-0,5807	0,0086
-0,7284	-0,5086
-0,8529	-0,5229



$$y = ax + b$$

$$q_e = K C^{(1/n)}$$

$$\log q_e = 1/n \log C_e + \log K$$

$$y = 0,6581x - 0,4856$$

$$n = 1/a \quad KF = 10^b$$

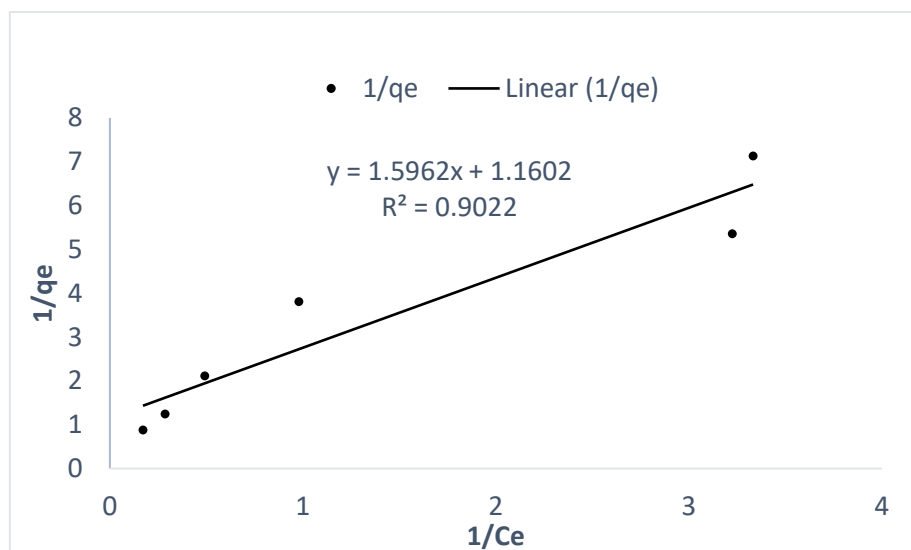
a	b	n	KF	R ²
0,6581	- 0,4856	1,5195	0,3269	0,964

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Granular 12 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52 mg/l

Waktu (Menit)	Massa (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	V(mL)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
90	0,5	11,5230	5,83	100	1,1386	0,1715	0,8783
90	1	11,5230	3,48	100	0,8043	0,2873	1,2433
90	2	11,5230	2,03	100	0,4746	0,4926	2,1070
90	4	11,5230	1,02	100	0,2626	0,9804	3,8081
90	6	11,5230	0,31	100	0,1869	3,2258	5,3504
90	8	11,5230	0,30	100	0,1403	3,3333	7,1276

Pada **Granular 12 Mesh; Konsentrasi Cr 11,52 mg/l**, untuk mengetahui Model Isotherm Adsorpsi Langmuir diplotkan 1/qe dan 1/Ce

1/Ce	1/qe
0,1715	0,8783
0,2873	1,2433
0,4926	2,1070
0,9804	3,8081
3,2258	5,3504
3,3333	7,1276



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 1,5962x + 1,1602$$

$$KL = 1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

a	b	KL	qm	R ²
1.5962	1,1602	0,7269	0,8619	0,9022

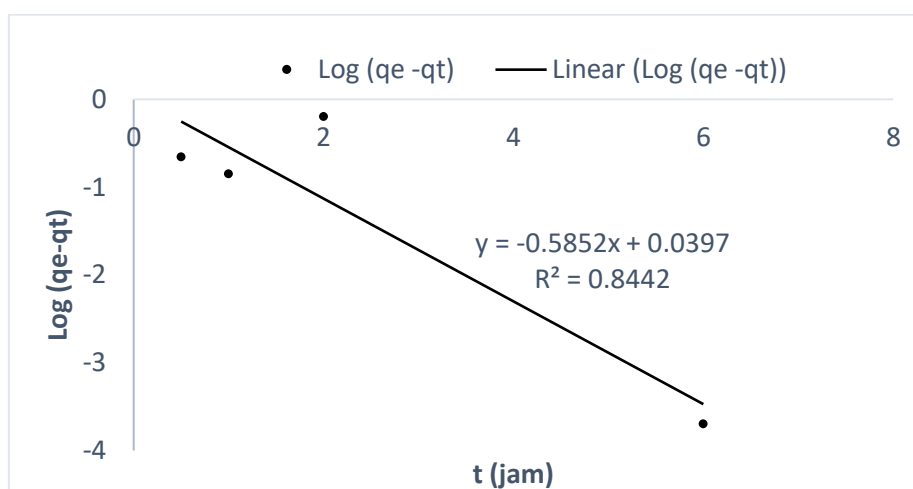
Lampiran 4. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule 8 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 23,10 mg/l

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	Massa (gr)	V (ml)	qe (mg/g)
4,00	23,10	2,88	6,0090	100	0,3370

t (jam)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	Log (qe -qt)
0,5	23,10	16,12	100	0,1163	-0,6562
1,0	23,10	11,36	100	0,1957	-0,8499
2,0	23,10	6,70	100	0,2733	-0,1958
4,0	23,10	2,88	100	0,3370	#NUM!
6,0	23,10	2,89	100	0,3368	-3,6989

t (jam)	Log (qe -qt)
0,5	-0,6562
1,0	-0,8499
2,0	-0,1958
6,0	-3,6989



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = (k_1/2,303) t + \log q_e$$

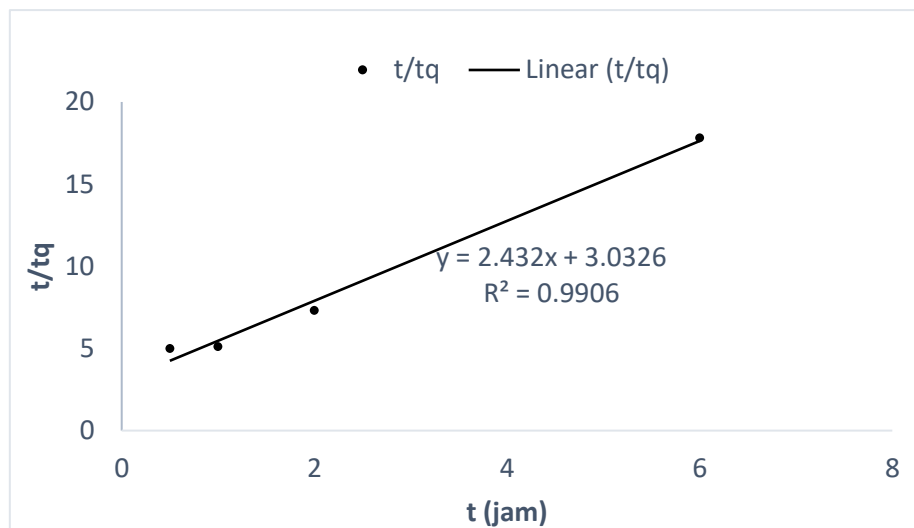
$$y = -0,5852x + 0,0397$$

a	b	K1	qe	R ²
0,5852	0,0397	1,3477	1,0957	0,8442

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule 8 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 23,10 mg/l

t (jam)	Massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	6,0009	23,10	16,12	100	0,1163	4,992
1,0	6,0009	23,10	11,36	100	0,1957	5,1099
2,0	6,0009	23,10	6,70	100	0,2733	7,3179
4,0	6,0009	23,10	2,88	100	0,3370	11,8694
6,0	6,0009	23,10	2,89	100	0,3368	17,8147

t (jam)	t/qt
0,5	4,992
1,0	5,1099
2,0	7,3179
6,0	17,8147



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 2,432x + 3,0326$$

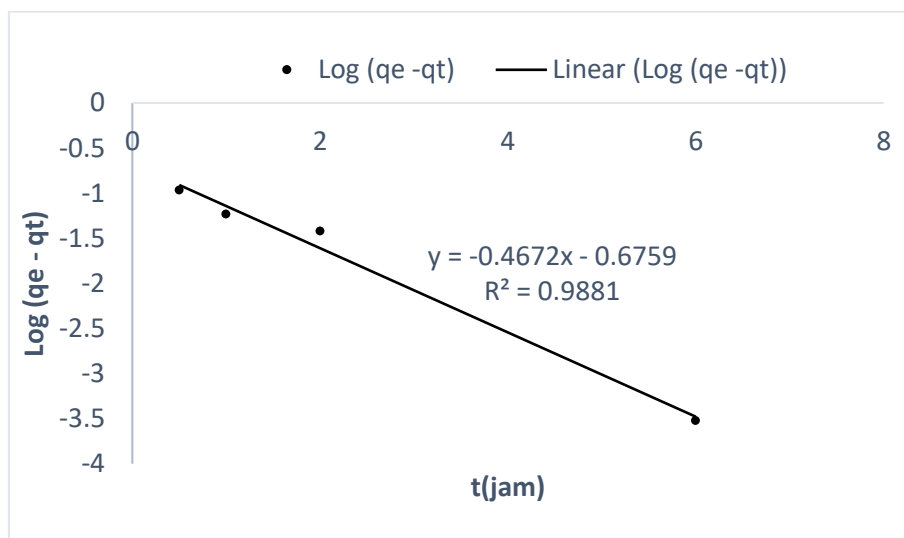
a	b	q _e	K ₂	R ²
2,432	3,0326	0,4112	1,9504	0,9906

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule 8 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 16,52 mg/l

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	Massa (gr)	V (ml)	qe (mg/g)
4,00	16,52	1,58	6,0000	100	0,2490

t (jam)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	Log (qe -qt)
0,5	16,52	8,05	100	0,1412	-0,9674
1,0	16,52	5,10	100	0,1903	-1,2314
2,0	16,52	3,86	100	0,2110	-1,4202
4,0	16,52	1,58	100	0,2490	#NUM!
6,0	16,52	1,60	100	0,2487	-3,5229

t (jam)	Log (qe -qt)
0,5	-0,9674
1,0	-1,2314
2,0	-1,4202
6,0	-3,5229



$$y = ax + b$$

$$\log (qe - qt) = (k_1/2,303) t + \log qe$$

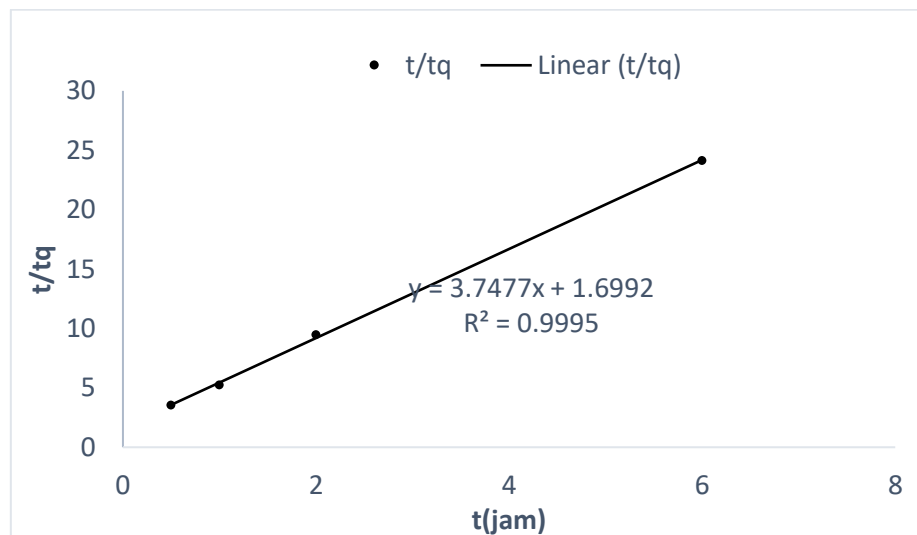
$$y = -0,4672x - 0,6759$$

a	b	K1	qe	R ²
-0,4672	- 0,6759	1,0759	0,2109	0,9881

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule 8 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 16,52 mg/l

t (jam)	Massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	6,0000	16,52	8,05	100	0,1412	3,5411
1,0	6,0000	16,52	5,10	100	0,1903	5,2548
2,0	6,0000	16,52	3,86	100	0,2110	9,4787
4,0	6,0000	16,52	1,58	100	0,2490	16,0642
6,0	6,0000	16,52	1,60	100	0,2487	24,1254

t (jam)	t/qt
0,5	3,5411
1,0	5,2548
2,0	9,4787
6,0	24,1254



$$y = ax + b1$$

$$t/qt = 1/qe t + 1/k2 qe^2$$

$$y = 3,7477x + 1,6992$$

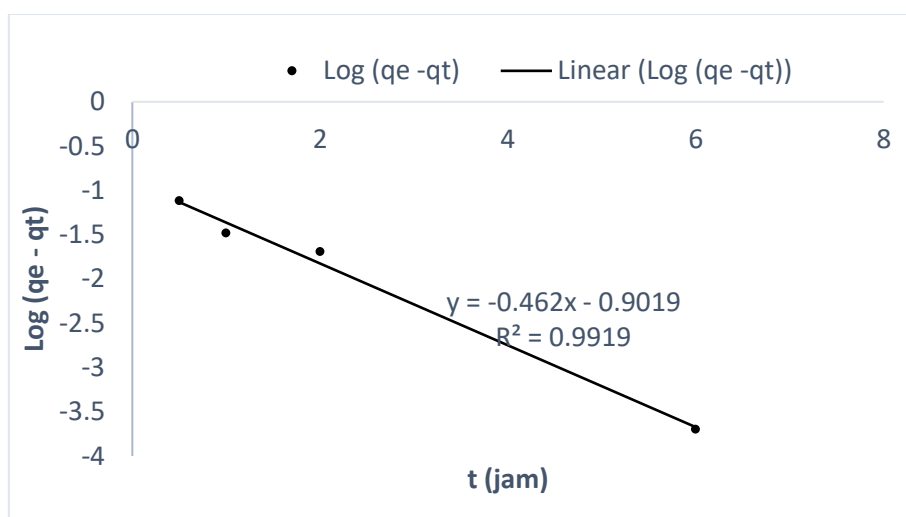
a	b	qe	K2	R²
3,7477	1,6992	0,2668	8,2713	0,9995

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule 8 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 11,51 mg/l

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	Massa (gr)	V (ml)	qe (mg/g)
4,00	11,51	1,04	6,0000	100	0,1745

t (jam)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	Log (qe -qt)
0,5	11,51	5,60	100	0,0985	-1,1192
1,0	11,51	3,01	100	0,1417	-1,4841
2,0	11,51	2,25	100	0,1543	-1,6946
4,0	11,51	1,04	100	0,1745	#NUM!
6,0	11,51	1,05	100	0,1743	-3,6989

t (jam)	Log (qe -qt)
0,5	-1,1192
1,0	-1,4841
2,0	-1,6946
6,0	-3,6989



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = (k_1/2,303) t + \log q_e$$

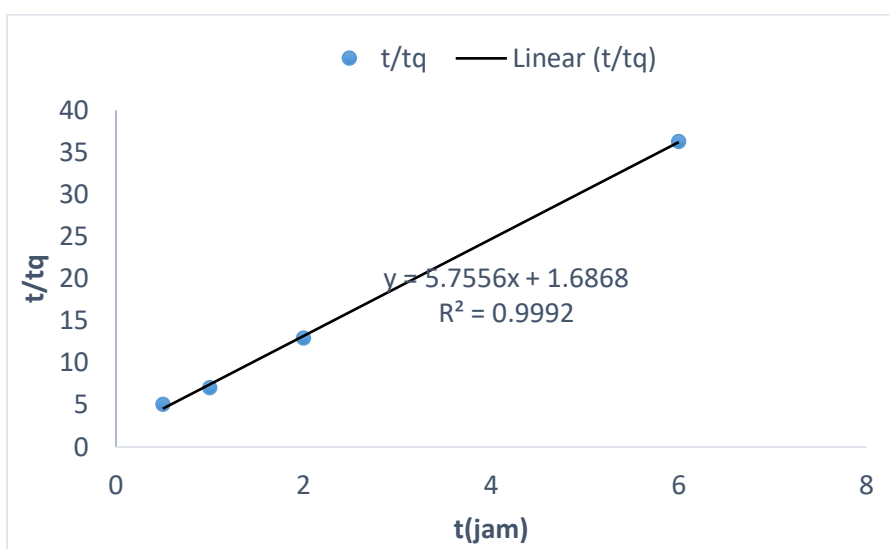
$$y = -0,462x - 0,9019$$

a	b	K1	qe	R ²
-0,462	- 0,9019	1,0639	0,1253	0,9919

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule 8 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 11,52 mg/l

t (jam)	Massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	6,0000	11,51	5,60	100	0,0983	5,0865
1,0	6,0000	11,51	3,01	100	0,1417	7,0572
2,0	6,0000	11,51	2,25	100	0,1543	12,9617
4,0	6,0000	11,51	1,04	100	0,1745	22,9226
6,0	6,0000	11,51	1,60	100	0,1652	36,3196

t (jam)	t/qt
0,5	5,0865
1,0	7,0572
2,0	12,9617
6,0	36,3196



$$y = ax + b1$$

$$t/qt = 1/qe t + 1/k2 qe^2$$

$$y = 5,7556x + 1,6868$$

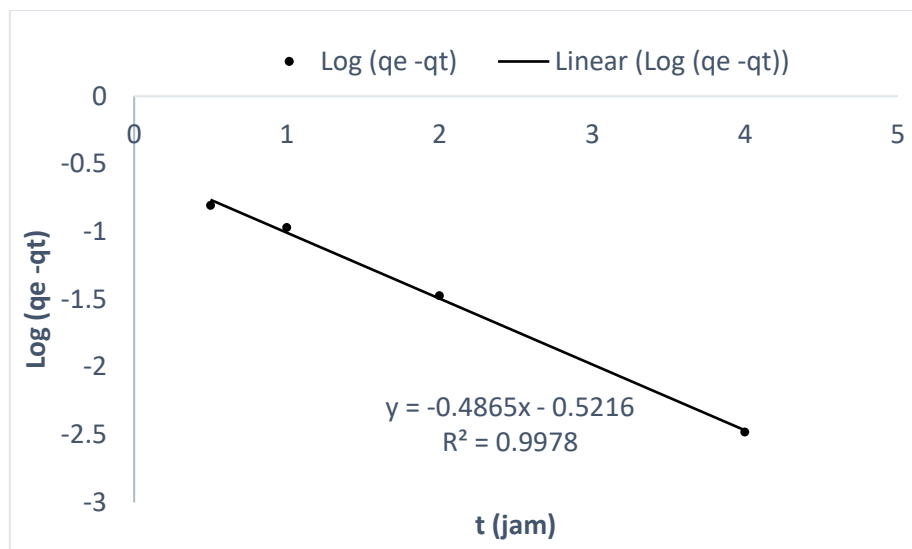
a	b	qe	K2	R ²
5,7556	1,6868	0,1737	19,6502	0,9992

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule 10 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 23,10 mg/l

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	Massa (gr)	V (ml)	qe (mg/g)
6,00	23,10	1,60	6,0000	100	0,3583

t (jam)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	Log (qe -qt)
0,5	23,10	10,94	100	0,2026	-0,8077
1,0	23,10	8,01	100	0,2515	-0,9714
2,0	23,10	3,61	100	0,3248	-1,4749
4,0	23,10	1,80	100	0,3550	-2,4815
6,0	23,10	1,60	100	0,3583	#NUM!

t (jam)	Log (qe -qt)
0,5	-0,8077
1,0	-0,9714
2,0	-1,4749
4,0	-2,4815



$$y = ax + b$$

$$\log (qe - qt) = (k_1/2,303) t + \log qe$$

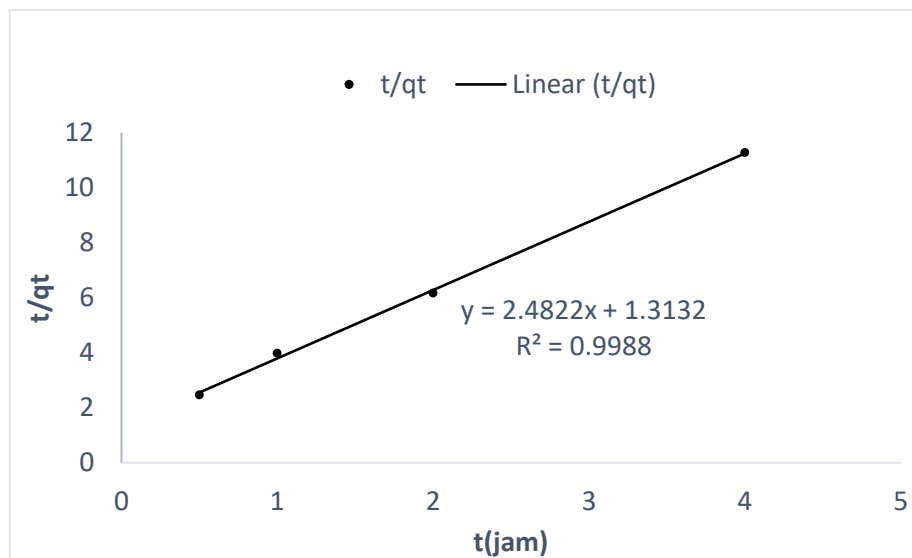
$$y = -0,4865x - 0,5216$$

a	b	K1	qe	R ²
-0,4865	- 0,5216	1,1204	0,3018	0,9978

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule 10 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 23,10 mg/l

t (jam)	Massa (gr)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	6,0000	23,10	10,94	100	0,2026	2,4679
1,0	6,0000	23,10	8,01	100	0,2515	3,9761
2,0	6,0000	23,10	3,61	100	0,3248	6,1576
4,0	6,0000	23,10	1,80	100	0,3550	11,2676
6,0	6,0000	23,10	1,60	100	0,3583	16,7457

t (jam)	t/qt
0,5	2,4679
1,0	3,9761
2,0	6,1576
4,0	11,2676



$$y = ax + b1$$

$$t/qt = 1/qe \cdot t + 1/k2 \cdot qe^2$$

$$y = 2,4822x + 1,3132$$

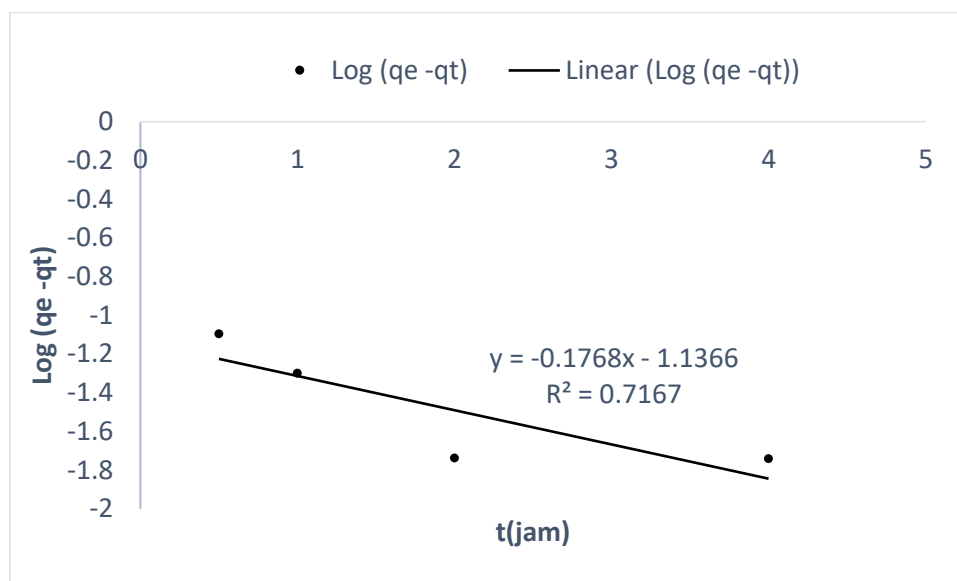
a	b	qe	K2	R ²
2,4822	1,3132	0,4029	4,6913	0,9988

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule 10 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 16,52 mg/l

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	Massa (gr)	V (ml)	qe (mg/g)
6,00	16,52	0,80	6,0000	100	0,2620

t (jam)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	Log (qe -qt)
0,5	16,52	5,61	100	0,1818	-1,0958
1,0	16,52	3,81	100	0,2118	-1,2993
2,0	16,52	1,90	100	0,2437	-1,7375
4,0	16,52	1,89	100	0,2438	-1,7399
6,0	16,52	1,80	100	0,2620	#NUM!

t (jam)	Log (qe -qt)
0,5	-1,0958
1,0	-1,2993
2,0	-1,7375
4,0	-1,7399



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = (k_1/2,303) t + \log q_e$$

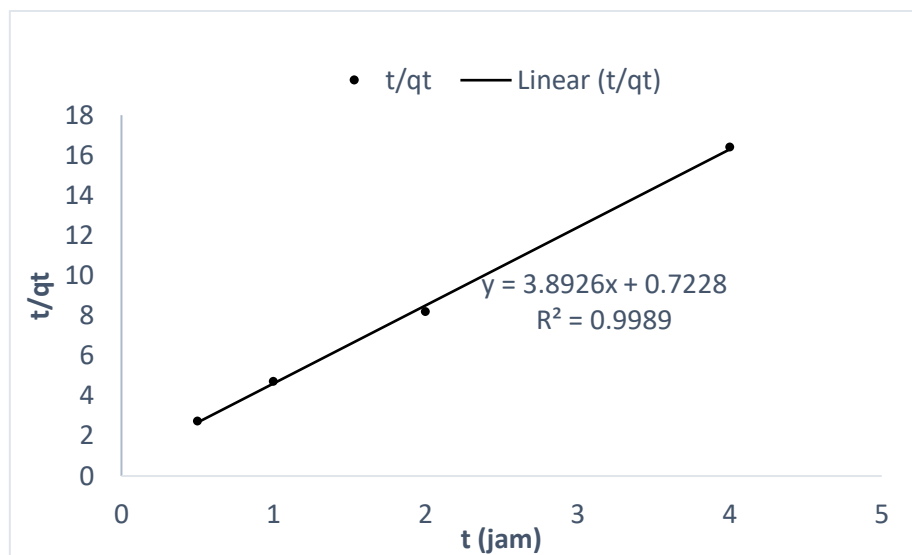
$$y = -0,1768x - 1,1366$$

a	b	K1	qe	R ²
-0,1768	- 1,1366	0,4072	0,0730	0,7169

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule 10 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 16,52 mg/l

t (jam)	Massa (gr)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	6,0000	16,52	-1,0958	100	0,1818	2,7502
1,0	6,0000	16,52	-1,2993	100	0,2118	4,7214
2,0	6,0000	16,52	-1,7375	100	0,2437	8,2068
4,0	6,0000	16,52	-1,7399	100	0,2438	16,4069
6,0	6,0000	16,52	-1,0958	100	0,2620	22,9007

t (jam)	t/qt
0,5	2,7502
1,0	4,7214
2,0	8,2068
4,0	16,4069



$$y = ax + b1$$

$$t/qt = 1/qe \ t + 1/k2 \ qe^2$$

$$y = 3,8926x + 0,7228$$

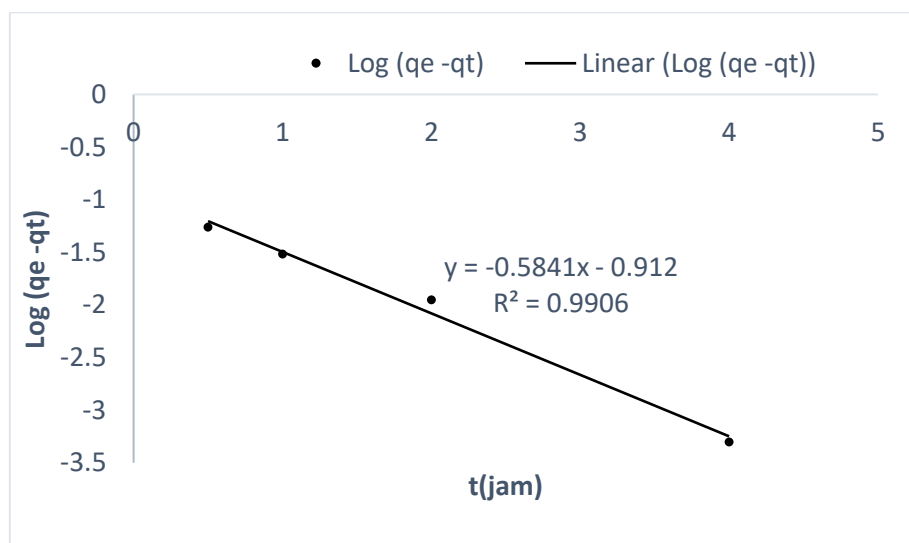
a	b	qe	K2	R ²
3,8926	0,7228	0,2569	20,9644	0,9989

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule 10 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 11,52 mg/l

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	Massa (gr)	V (ml)	qe (mg/g)
6,00	11,52	0,55	6,0000	100	0,1828

t (jam)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	Log (qe -qt)
0,5	11,52	3,91	100	0,1268	-1,2612
1,0	11,52	2,38	100	0,1523	-1,5157
2,0	11,52	1,22	100	0,1716	-1,9508
4,0	11,52	0,58	100	0,1823	-3,3010
6,0	11,52	0,55	100	0,1828	#NUM!

t (jam)	Log (qe -qt)
0,5	-1,2612
1,0	-1,5157
2,0	-1,9508
4,0	-3,3010



$$y = ax + b$$

$$\log (qe - qt) = (k_1/2,303) t + \log qe$$

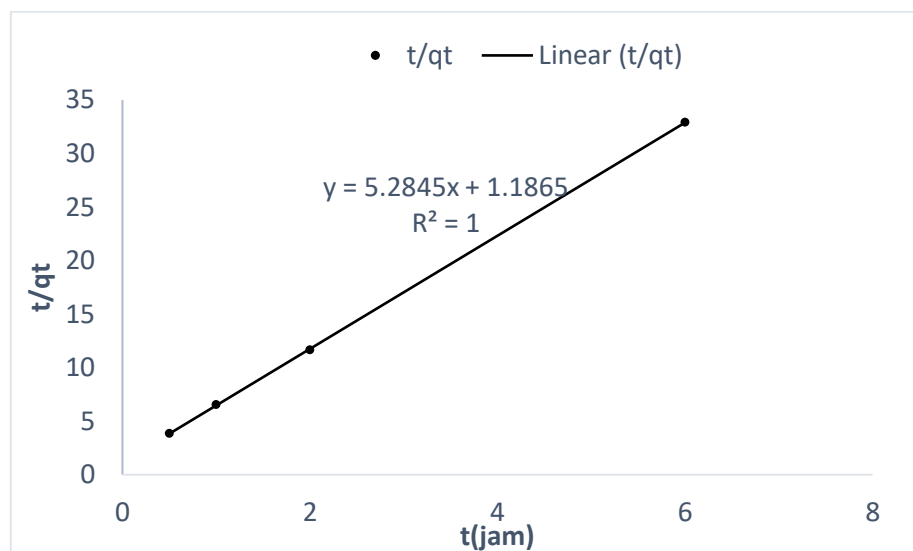
$$y = -0,5841x - 0,912$$

a	b	K1	qe	R ²
-0,5841	- 0,912	1,3452	0,1225	0,9906

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule 10 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 11,52 mg/l

t (jam)	Massa (gr)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	6,0000	11,52	3,91	100	0,1268	3,9432
1,0	6,0000	11,52	2,38	100	0,1523	6,5659
2,0	6,0000	11,52	1,22	100	0,1716	11,655
4,0	6,0000	11,52	0,58	100	0,1823	21,9418
6,0	6,0000	11,52	0,55	100	0,1828	32,8223

t (jam)	t/qt
0,5	3,9432
1,0	6,5659
2,0	11,655
4,0	21,9418



$$y = ax + b1$$

$$t/qt = 1/qe \cdot t + 1/k2 \cdot qe^2$$

$$y = 5,2845x + 1,1865$$

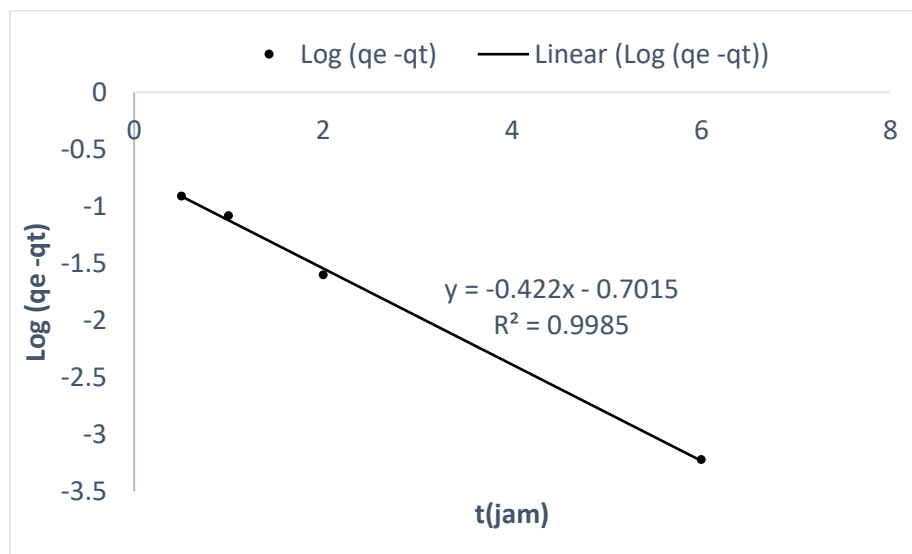
a	b	qe	K2	R ²
5,2845	1,1865	0,1892	23,5366	1

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule 12 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 23,10 mg/l

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	Massa (gr)	V (ml)	qe (mg/g)
4,00	23,12	1,26	6,0000	100	0,3643

t (jam)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	Log (qe -qt)
0,5	23,12	8,65	100	0,2412	-0,9097
1,0	23,12	6,24	100	0,2813	-1,0812
2,0	23,12	2,76	100	0,3393	-1,6021
4,0	23,12	1,26	100	0,3643	#NUM!
6,0	23,12	1,39	100	0,3637	-3,2218

t (jam)	Log (qe -qt)
0,5	-0,9097
1,0	-1,0812
2,0	-1,6021
6,0	-3,2218



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = (k_1/2,303) t + \log q_e$$

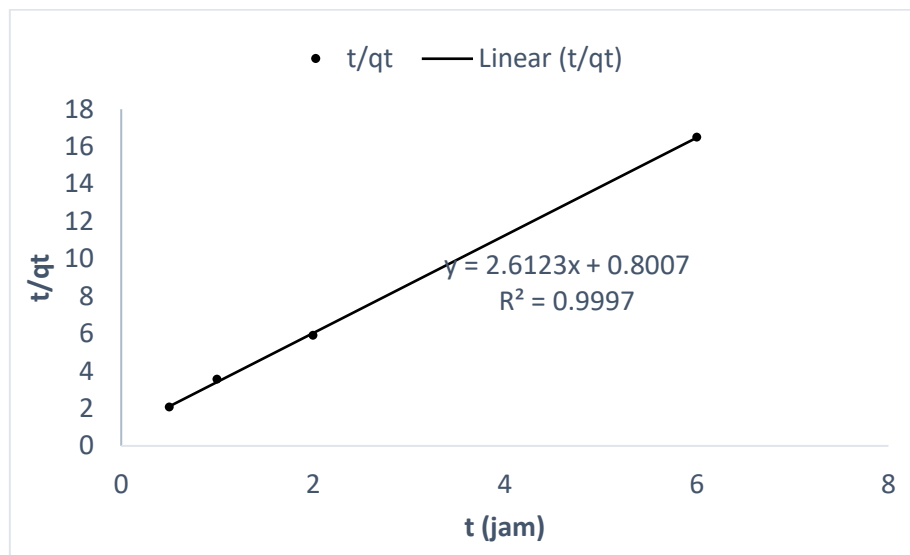
$$y = -0,422x - 0,7015$$

a	b	K1	qe	R ²
-0,422	- 0,7015	0,9718	0,1988	0,9985

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule 12 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 23,10 mg/l

t (jam)	Massa (gr)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	6,0000	23,12	8,65	100	0,2412	2,0729
1,0	6,0000	23,12	6,24	100	0,2813	3,5549
2,0	6,0000	23,12	2,76	100	0,3393	5,8945
4,0	6,0000	23,12	1,26	100	0,3643	10,9799
6,0	6,0000	23,12	1,39	100	0,3637	16,4971

t (jam)	t/qt
0,5	2,0729
1,0	3,5549
2,0	5,8945
6,0	16,4971



$$y = ax + b1$$

$$t/qt = 1/qe \cdot t + 1/k2 \cdot qe^2$$

$$y = 2,6123x + 0,8007$$

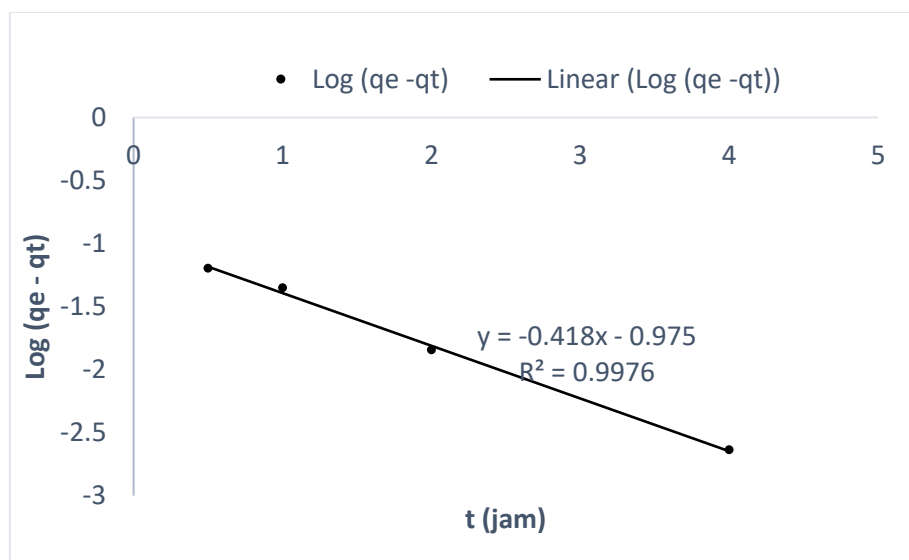
a	b	qe	K2	R²
2,6123	0,8007	0,3828	8,5229	0,9997

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule 12 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 16,50 mg/l

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	Massa (gr)	V (ml)	qe (mg/g)
6,00	16,51	0,60	6,0000	100	0,2651

t (jam)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	Log (qe -qt)
0,5	16,51	4,40	100	0,2018	-1,1986
1,0	16,51	3,26	100	0,2208	-1,3536
2,0	16,51	1,46	100	0,3508	-1,8447
4,0	16,51	0,74	100	0,2628	-2,6383
6,0	16,51	0,60	100	0,2651	#NUM!

t (jam)	Log (qe -qt)
0,5	-1,1986
1,0	-1,3536
2,0	-1,8447
4,0	-2,6383



$$y = ax + b$$

$$\log (qe - qt) = (k_1/2,303) t + \log qe$$

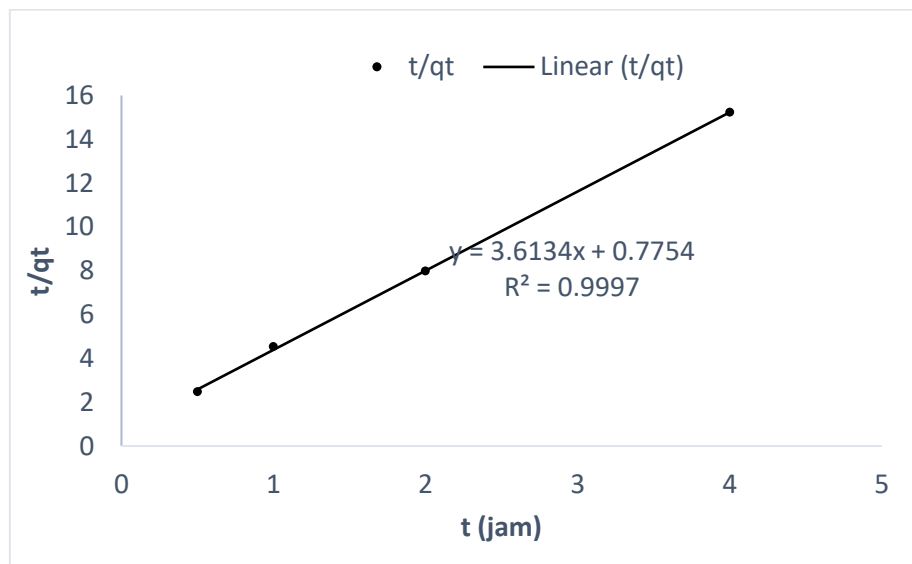
$$y = -0,418x - 0,975$$

a	b	K1	qe	R ²
-0,418	- 0,975	0,9627	0,1059	0,9976

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule 12 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 16,52 mg/l

t (jam)	Massa (gr)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	6,0000	16,51	4,40	100	0,2018	2,4777
1,0	6,0000	16,51	3,26	100	0,2208	4,5290
2,0	6,0000	16,51	1,46	100	0,3508	7,9745
4,0	6,0000	16,51	0,74	100	0,2628	15,2207
6,0	6,0000	16,51	0,60	100	0,2651	22,6336

t (jam)	t/qt
0,5	2,4777
1,0	4,5290
2,0	7,9745
4,0	15,2207



$$y = ax + b1$$

$$t/qt = 1/qe t + 1/k2 qe^2$$

$$y = 3,6134x + 0,7754$$

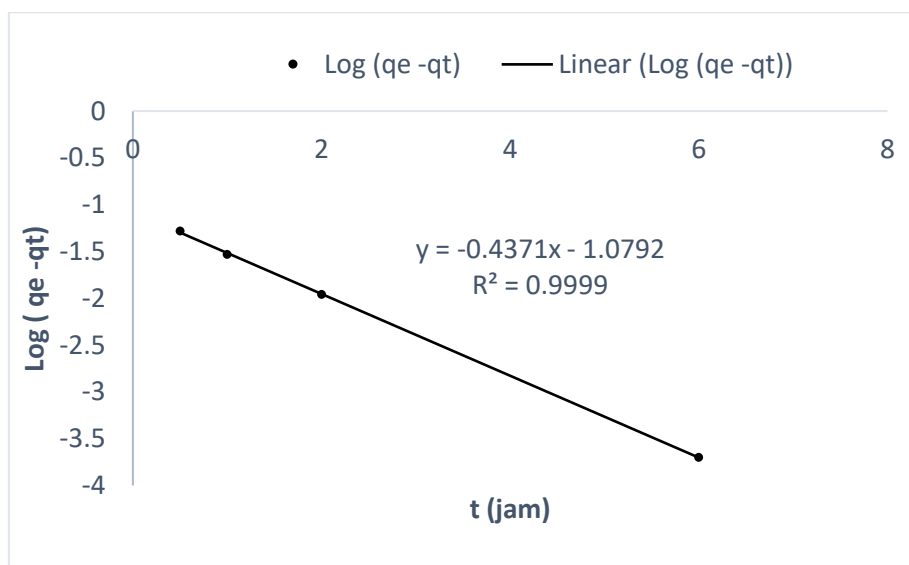
a	b	qe	K2	R²
3,6134	0,7754	0,2767	16,8464	0,9997

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule 12 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 11,52 mg/l

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	Massa (gr)	V (ml)	qe (mg/g)
4,00	11,502	0,55	6,0000	100	0,1825

t (jam)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	Log (qe -qt)
0,5	11,502	3,68	100	0,1303	-1,2813
1,0	11,502	2,32	100	0,1530	-1,5302
2,0	11,502	1,21	100	0,1715	-1,9586
4,0	11,502	0,55	100	0,1825	#NUM!
6,0	11,502	0,56	100	0,1823	-3,6989

t (jam)	Log (qe -qt)
0,5	-1,2813
1,0	-1,5302
2,0	-1,9586
6,0	-3,6989



$$y = ax + b$$

$$\log (qe - qt) = (k_1/2,303) t + \log qe$$

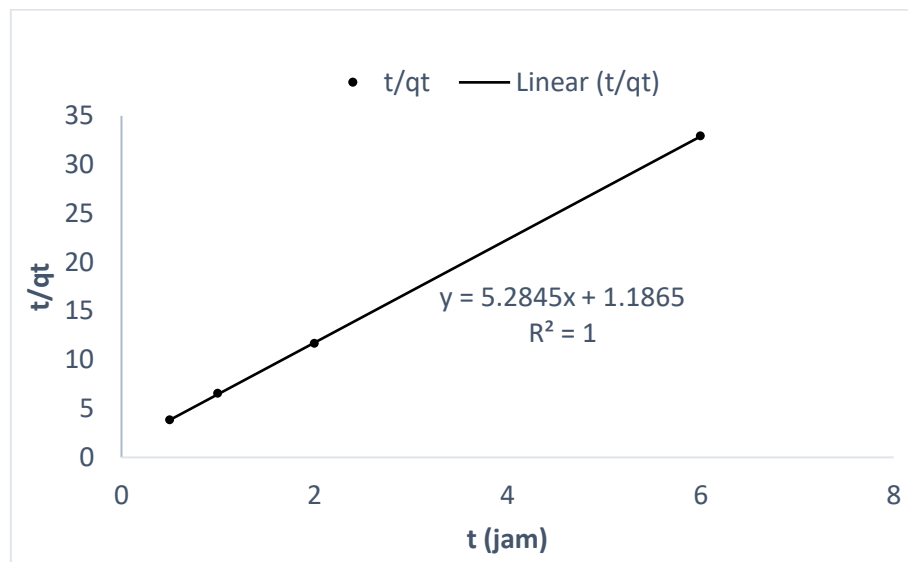
$$y = -0,4371x - 1,0792$$

a	b	K1	qe	R ²
-0,4371	- 1,0792	1,0066	0,0833	0,9976

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule 12 Mesh; Konsentrasi Larutan Cr 50 %

t (jam)	Massa (gr)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	6,0000	11,502	3,68	100	0,1303	3,8373
1,0	6,0000	11,502	2,32	100	0,1530	6,5364
2,0	6,0000	11,502	1,21	100	0,1715	11,662
4,0	6,0000	11,502	0,55	100	0,1825	21,918
6,0	6,0000	11,502	0,56	100	0,1823	32,913

t (jam)	t/qt
0,5	3,8373
1,0	6,5364
2,0	11,662
6,0	32,913



$$y = ax + b1$$

$$t/qt = 1/qe t + 1/k2 qe^2$$

$$y = 5,2845x + 1,1865$$

a	b	qe	K2	R ²
5,2845	1,1865	0,1892	23,5460	1

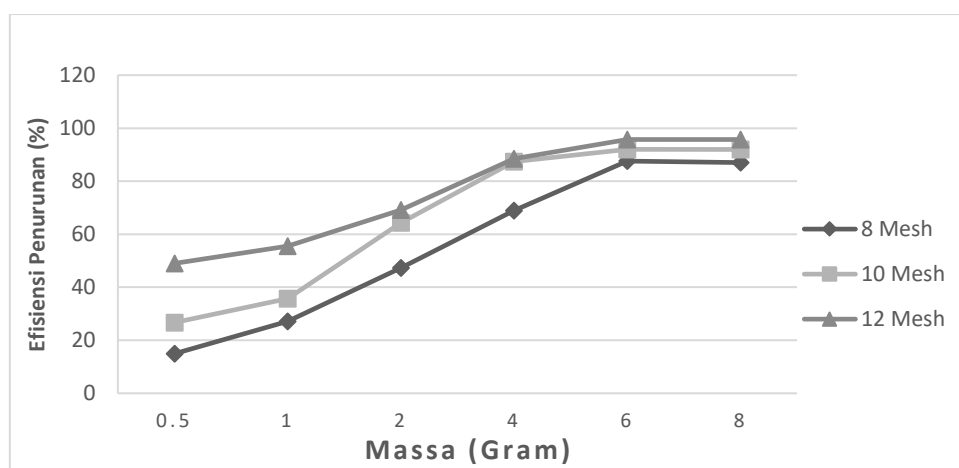
Lampiran 5. Pengaruh Massa dan Ukuran adsorben terhadap Efisiensi Penurunan ion Cr

Tabel 5.1 Pengaruh Massa Adsorben terhadap Efisiensi Penyisihan Cr pada berbagai Ukuran Adsorben Larutan dengan Konsentrasi 16,52 mg/l.

Jumlah Massa (Gram)	Efisiensi Penurunan (%) Pada berbagai Ukuran Adsorben (Mesh)		
	8 (2,36 mm)	10 (2,00 mm)	12 (1,70 mm)
0,5	14,94	26,69	49,00
1	27,11	35,77	55,56
2	47,27	64,34	69,12
4	68,88	87,41	88,49
6	87,59	92,01	95,73
8	87,04	92,00	95,73

Sumber: Hasil Perhitungan

Data dari Tabel 5.1 dapat digambarkan dalam grafik pada Gambar berikut



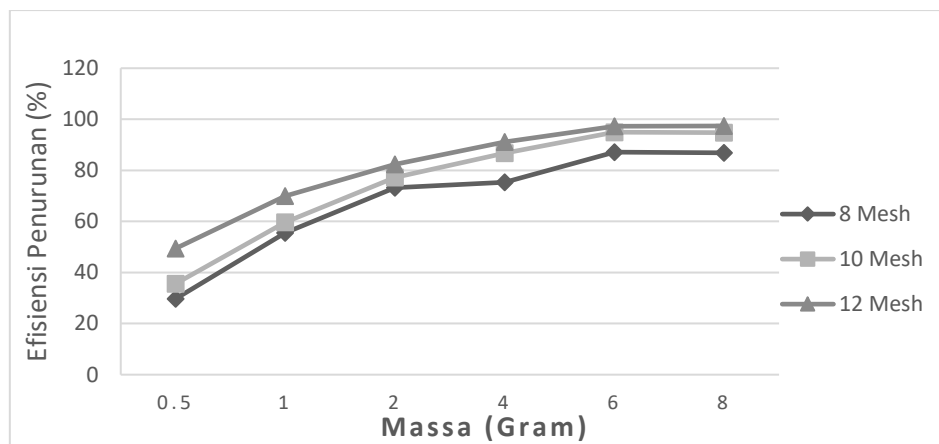
Gambar 5.1 Efisiensi penyisihan Cr pada berbagai Massa dan Ukuran Adsorben dengan Konsentrasi Larutan 16,52 mg/l

Tabel 5-2 Pengaruh Massa Adsorben terhadap Efisiensi Penyisihan Cr pada berbagai Ukuran Adsorben Larutan dengan Konsentrasi 11,52 mg/l

Jumlah Massa (Gram)	Efisiensi Penurunan (%) Pada berbagai Ukuran Adsorben (Mesh)		
	8 (2,36 mm)	10 (2,00 mm)	12 (1,70 mm)
0,5	29,71	35,61	49,41
1	55,57	59,65	69,89
2	73,27	77,26	82,38
4	75,40	86,81	91,15
6	87,15	94,96	97,31
8	86,90	94,79	97,39

Sumber: Hasil Perhitungan

Data dari Tabel 5.2 dapat digambarkan dalam grafik pada Gambar berikut



Gambar 5.2 Efisiensi penyisihan Cr pada berbagai Massa dan Ukuran Adsorben dengan Konsentrasi Larutan 11,52 mg/l.

Lampiran 6. Konsentrasi Akhir Larutan Pada Proses Kontinyu

Tabel 6.1 Konsentrasi Akhir Larutan dan Efisiensi Penyisihan pada Proses Kontinyu untuk larutan Cr Awal 11,52 mg/l

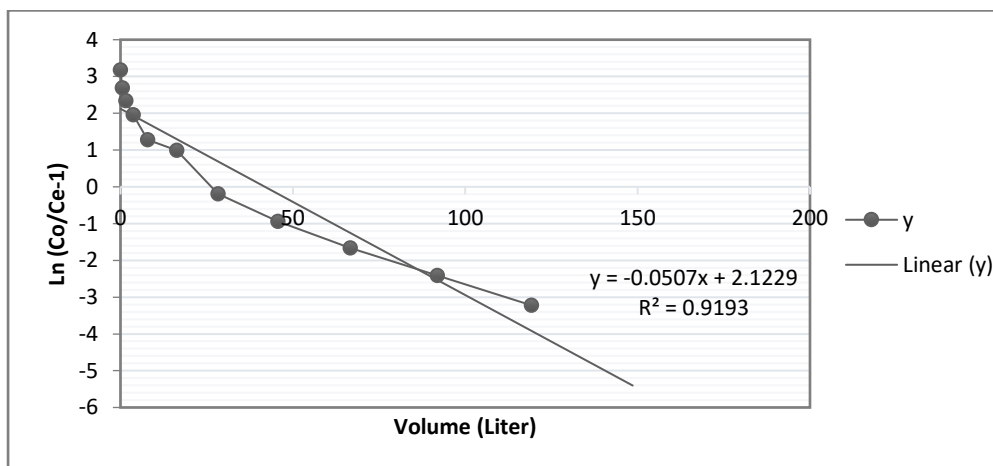
Waktu (Jam)	Ketinggian Adsorben (cm)					
	20 cm		30 cm		40 cm	
	Konsentrasi (mg/l)	%Removal	Konsentrasi (mg/l)	%Removal	Konsentrasi (mg/l)	%Removal
Awal	0,69	94,01	0,46	96,00	0,21	98,13
0,25	1,38	88,02	0,73	93,66	0,57	95,05
0,5	1,92	83,33	1,01	91,23	0,89	92,27
1	2,24	80,55	1,42	87,67	1,07	90,71
2	2,87	75,08	2,51	78,21	1,29	88,80
4	3,19	72,31	3,13	72,83	1,90	83,51
6	7,02	39,06	7,17	37,76	2,14	81,42
8	8,54	25,87	8,27	28,21	2,87	75,08
9	11,48	0,34	8,59	25,43	3,19	72,31
10	-	-	9,72	15,63	4,02	65,10
12	-	-	10,54	8,51	4,78	58,50
13	-	-	11,08	3,82	5,23	54,60
14	-	-	11,51	0,08	8,54	25,87
16	-	-	-	-	9,12	20,83
18	-	-	-	-	10,16	11,81
20	-	-	-	-	11,52	0,00

Sumber: Hasil Analisa dan Perhitungan

Lampiran 7. Perhitungan Konstanta Kinetik dan Kapasitas Media untuk Larutan 11,52 mg/l

8.1 Tinggi Media (H) = 30 cm

Waktu (Jam)	Waktu Kum (Jam)	Konsentrasi		Vol Terolah Kumulatif (L)	Co/Ce-1	Ln [Co/Ce-1]
		Awal (mg/l)	Akhir(mg/l)			
0,0	0,0	11,52	0,46	0,00	24,04	3,18
0,25	0,25	11,52	0,73	0,53	14,78	2,69
0,5	0,75	11,52	1,01	1,58	10,41	2,34
1	1,75	11,52	1,42	3,68	7,11	1,96
2	3,75	11,52	2,51	7,88	3,59	1,28
4	7,75	11,52	3,13	16,28	2,68	0,99
6	13,75	11,52	6,32	28,88	0,82	-0,19
8	21,75	11,52	8,27	45,68	0,39	-0,94
10	31,75	11,52	9,72	66,68	0,19	-1,66
12	43,75	11,52	10,54	91,87	0,09	-2,41
13	56,75	11,52	11,08	119,17	0,04	-3,22
14	70,75	11,52	11,51	148,57	-	-



Dari hasil perhitungan maupun grafik di dapat nilai:

Slope = -0,0507 (untuk tinggi kolom 30 cm)

$$\text{Slope} = \frac{-K_1 \times C_0}{Q} = -0,0507$$

Dengan $Q = 35 \text{ ml / menit} \times 60 \text{ menit/jam} = 2100-0, \text{ ml/ jam} = 2,1 \text{ liter jam}$

$$\text{Sehingga, } K_1 = \frac{-0,0507 \times Q}{C_0} = - \frac{-0,0507 \times 2,1 \text{ liter/jam}}{11,52 \text{ mg/l}} = 0,0092 \text{ liter/jam-mg}$$

$$\text{Intersep} = \frac{K_1 \times q_0 \times M}{Q} = 2,1229$$

Bila $M = \text{Densitas} \times \text{Volume}$

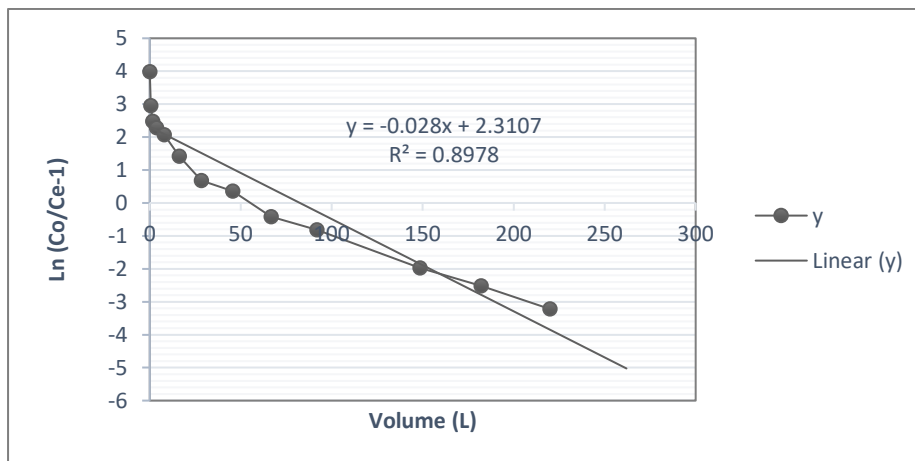
$$= 0,5392 \text{ gr/ml} \times (1/4 \times 3,14 \times 3 \times 3 \times 30) = 114,28 \text{ gr}$$

Maka, nilai q_0 didapat:

$$q_0 = \frac{2,1229 \times 2,1 \text{ liter/jam}}{0,0092 \times 114,28} = 4,24 \text{ mg adsorbat/ mg adsorben}$$

7.2 Pada Tinggi Media (H) = 40 cm

Waktu (Jam)	Waktu Kum (Jam)	Konsentrasi		Vol Terolah Kumulatif (L)	Co/Ce-1	Ln [Co/Ce-1]
		Awal (mg/l)	Akhir(mg/l)			
0,0	0,0	11,52	0,21	0,00	53,86	3,98
0,25	0,25	11,52	0,57	0,53	19,21	2,95
0,5	0,75	11,52	0,89	1,58	11,94	2,48
1	1,75	11,52	1,07	3,68	9,76	2,28
2	3,75	11,52	1,29	7,88	7,93	2,07
4	7,75	11,52	2,24	16,28	4,14	1,42
6	13,75	11,52	3,87	28,88	1,98	0,68
8	21,75	11,52	4,74	45,68	1,43	0,36
10	31,75	11,52	6,95	66,68	0,66	-0,42
12	43,75	11,52	7,97	91,87	0,44	-0,82
14	70,75	11,52	10,13	148,57	0,14	-1,97
16	86,75	11,52	10,69	182,18	0,08	-2,52
18	104,75	11,52	11,13	219,97	0,04	-3,22
20	124,75	11,52	11,52	261,97	-	-



Dari hasil perhitungan maupun grafik di dapat nilai:

Slope = -0,028 (untuk tinggi kolom 40 cm)

$$\text{Slope} = \frac{-K_1 \times C_0}{Q} = -0,028$$

Dengan $Q = 35 \text{ ml / menit} \times 60 \text{ menit/jam} = 2100 \text{ ml/ jam} = 2,1 \text{ liter jam}$

$$\text{Sehingga, } K_1 = \frac{-0,028 \times Q}{C_0} = - \frac{-0,028 \times 2,1 \text{ liter/jam}}{11,52 \text{ mg/l}} = 0,0051 \text{ liter/jam-mg}$$

$$\text{Intersep} = \frac{K1 \times qo \times M}{Q} = 2,3133$$

Bila $M = \text{Densitas} \times \text{Volume}$

$$= 0,5392 \text{ gr/ml} \times (1/4 \times 3,14 \times 3 \times 3 \times 40) = 152,38 \text{ gr}$$

Maka, nilai qo didapat:

$$qo = \frac{2,3133 \times 2,1 \text{ liter/jam}}{0,0051 \times 152,38} = 6,251 \text{ mg adsorbat/ mg adsorben}$$

LAMPIRAN 9 DOKUMENTASI PENELITIAN



Pengayakan Ukuran Adsorben



Aktivasi Adsorben



Proses Presipitasi



Proses Adsorpsi Batch



Proses Adsorpsi Kontinyu



Pengukuran sampel



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM PASCASARJANA
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

FORMULIR TESIS ULT-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Ujian Lisan Tesis

Hari, tanggal : Selasa, 15 Januari 2019
Jam : 09.30 - 11.30
Tempat : R. S 203
Judul Tesis : Studi Penurunan Kadar Chromium (Cr) dalam Limbah Buatan Elektroplating Menggunakan Metode Presipitasi dan Adsorpsi
Nama Mahasiswa : Madalena Da Costa
NRP : 03211650010010
Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

Ace. 20/2019
Hadi, Jamar

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
15	cek satuan? dan rumus? yg digunakan
40-41	Bgm terlihat pengendapan hasil percobaan dibanding dg teori. Benarkah rpm pengadukan berpengaruh pd presipitasi (efisiensi)? pH adsorpsi bgmn menerapkan di lapangan? → bgmn berpengaruh pd adsorpsi?
47	Mengapa di lakukan pengenceran pd ^{sub bab} 4.4.1.
63.	teori pseudo orde 2 → kinetika adsorpsi?
6	Bgm aplikasi riset ini ke massa akan datang?

Formulir KT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-03 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah :

DR. A.F. Assomadi

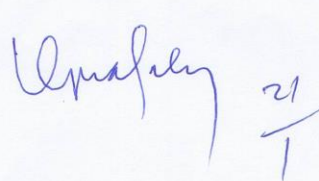
Hadi, Jamar



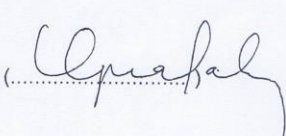
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM PASCASARJANA
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

FORMULIR TESIS ULT-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Ujian Lisan Tesis

Hari, tanggal : Selasa, 15 Januari 2019
Jam : 09.30 - 11.30
Tempat : R. S 203
Judul Tesis : Studi Penurunan Kadar Chromium (Cr) dalam Limbah Buatan Elektroplating Menggunakan Metode Presipitasi dan Adsorpsi
Nama Mahasiswa : Madalena Da Costa
NRP : 03211650010010
Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
1	Subbab 2.3.1 hapus → diganti Subbab 2.3. → hanya satu sub subbab.
2	Kesimpulan direvisi.
3	Koreksi penulisan → lihat draft tesis.
	

Formulir KT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-03 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : DR. Ali Marduni 



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM PASCASARJANA
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

FORMULIR TESIS ULT-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Ujian Lisan Tesis

Hari, tanggal : Selasa, 15 Januari 2019
Jam : 09.30 - 11.30
Tempat : R. S 203
Judul Tesis : Studi Penurunan Kadar Chromium (Cr) dalam Limbah Buatan Elektroplating Menggunakan Metode Presipitasi dan Adsorpsi
Nama Mahasiswa : Madalena Da Costa
NRP : 03211650010010
Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
	<ul style="list-style-type: none">- Pandai/lemba fokus pada metode yg. sudahCalunhu → Apa beda dg. penelitian sebelum —nya (Jambori, Wardani, dll)- Saran → relevansi dg. permasalahan & keunikan- bagaimana bandingkan dg. hasil penelitian sebelumnyaX- Bandingkan nilai pH limbah asal.- Contoh contoh pd draft tesis. <p style="text-align: right;">23/19 01/19 H</p>

Formulir KT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-03 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Mas Agus M PhD (H)



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM PASCASARJANA
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

FORMULIR TESIS ULT-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing / Co-Pembimbing
Ujian Lisan Tesis

Hari, tanggal : Selasa, 15 Januari 2019
Jam : 09.30 - 11.30
Tempat : R. S 203
Judul Tesis : Studi Penurunan Kadar Chromium (Cr) dalam Limbah Buatan Elektroplating Menggunakan Metode Presipitasi dan Adsorpsi
Nama Mahasiswa : Madalena Da Costa
NRP : 03211650010010
Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Lingkungan

No./Hal	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Tesis
1.	$Cr^{6+} \rightarrow Cr^{3+}$ (presipitasi)
2.	Sisa Cr^{6+} diadsorpsi \rightarrow bisa nol?
3.	Solusi ny Cr^{3+} ? Am Cr^{3+} diadsorpsi
4.	Kesimp di buku 4 poin, & PPT 3
5.	

24/1/19

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KT-02 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Wahyono Hadi, M. Sc, Ph.D

(.....)

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Iliomar-Dili pada tanggal 02 Juni 1992 dan merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Jose Da Costa dan Ibu Margarida Da Costa. Penulis anak ke tiga dari tujuh bersaudara. Penulis besar di Kupang dengan menempuh pendidikan di SD Inpres Naibonat Kupang Timur kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Oebelo Kupang Tengah. Pada Tahun 2009 penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Kupang Tengah dan lulus pada tahun 2011 dimana pada tahun tersebut penulis melanjutkan pendidikan S1 ke Jurusan Kimia MIPA Universitas Nusa Cendana (UNDANA). Penulis pada saat menempuh program sarjana sangat aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dan pernah menjadi Bendahara Umum Himpunan Mahasiswa Jurusan Kimia Universitas Nusa Cendana dan lulus September 2015. Penulis pada tahun 2016 melalui beasiswa BUDI LPDP, melanjutkan pendidikan program Magister di Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar dengan NRP 3316201010. Penulis pernah menjadi pembicara dalam seminar internasional ICMNS yang diselenggarakan oleh ITB. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email madalenadacosta042@gmail.com.

